

Sveučilište u Zagrebu  
Prirodoslovno-matematički fakultet  
Biološki odsjek

Jelena Babić

Dinamika populacija vrste *Synurella ambulans* (Müller, 1846)  
(Crustacea, Amphipoda) u povremenom izvoru Krčić

Diplomski rad

Zagreb, 2013.

Ovaj diplomski rad izrađen na Zoologijskom zavodu PMF-a u Zagrebu, pod vodstvom prof. dr. sc. Sanje Gottstein, predan je na ocjenu Biološkom odsjeku Prirodoslovno-matematičkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu radi stjecanja zvanja magistre struke znanosti o okolišu.

## *Zahvale:*

*Prvenstveno se zahvaljujem profesorici i mentorici Sanji Gottstein na pomoći pri odabiru teme, na stručnom vodstvu kroz izradu diplomskog rada, na savjetima, uloženom trudu i strpljenju.*

*Zahvaljujem se svim profesorima i asistentima PMF-a koji su tijekom studija ostavili utisak na moje obrazovanje i mene kao osobu.*

*Hvala mojoj obitelji na ljubavi i podršci tijekom studija.*

*Veliko hvala svim mojim prijateljima i kolegama koji su mi studentske dane učinili najljepšima u životu; terenske nastave posebno!*

*Hvala Sanji, najboljoj prijateljici, kolegici u klupi i labosima na divnom prijateljstvu bez koje studij ne bi bio ovo što je bio!*

*Najveće i posebno hvala Hrvoju na bezuvjetnoj ljubavi, razumijevanju, ohrabrivanju, strpljenju i vjeri u mene tijekom svih godina provedenih na studiju!*

Sveučilište u Zagrebu

Prirodoslovno-matematički fakultet

Biološki odsjek

Diplomski rad

**Dinamika populacija vrste *Synurella ambulans* (Müller, 1846) (Crustacea, Amphipoda)  
u povremenom izvoru Krčić**

Jelena Babić

Rooseveltov trg 6, 10 000 Zagreb

Vodeni beskralješnjaci razvili su različite strategije prilagodbe i preživljavanja sušnog razdoblja na povremenim izvorima. Struktura i gustoća populacije te razmnožavanje vrste *Synurella ambulans* istraživani su na povremenom izvoru Krčić u Srednjoj Dalmaciji kako bi se utvrdila strategija prilagodbe. Postaja predstavlja zonu ekotonskog eukrenala. Istraživanja su provedena jednom mjesečno od travnja 2011. do lipnja 2012. god. tijekom razdoblja protjecanja izvora, s dodatnim uzorkom u travnju 2013. god. Prikupljeni su triplikativni uzorci na tri različita tipa supstrata (mikrolital, megalital i mahovina) te su izmjereni osnovni fizikalno – kemijski čimbenici vode. Cilj ovoga rada bio je odrediti reproduktivnu strategiju (aktivni odnos spolova) i dinamiku populacija u ovisnosti o trajnosti izvora (vremenu i dužini vodene faze). Sezona razmnožavanja vrste *S. ambulans* na izvoru Krčić odvija se u podzemnim vodama na kraju sušne sezone izvora (od rujna do studenog) jer se juvenilne jedinke pojavljuju tijekom zime (od prosinca do siječnja) ubrzo nakon aktiviranja toka na izvoru. Čini se da ženke legu jaja u podzemnim vodama te imaju jedno leglo, zatim uglavnom ugibaju kada otpuste juvenilne jedinke. Prikupljeno je samo pet ovigernih ženki u siječnju, ožujku, travnju i svibnju te nije bilo moguće odrediti fekunditet. Ova populacija ima univoltini (iteroparni) životni ciklus. Mužjaci i ženke sa izvora Krčić su među najmanjima u Hrvatskoj i Europi, u rasponu ukupne dužine tijela od 2,24 – 5,25 mm mužjaci i 2,38 – 7,35 mm ženke.

(64 stranice, 32 slike, 4 tablice, 60 literaturnih navoda, jezik izvornika: hrvatski)

Rad je pohranjen u Središnjoj biološkoj knjižnici.

Ključne riječi: Amphipoda / Crangonyctidae / odnos spolova / gustoća populacija / životni ciklus / podzemlje / stigofili / izvori

Voditelj: Dr. sc. Sanja Gottstein, izv. prof.

Ocjenitelji: Dr. sc. Sanja Gottstein, izv. prof.  
Dr. sc. Sandra Radić Brkanac, doc.  
Dr. sc. Mladen Juračić, red. prof.  
Dr. sc. Neven Bočić, doc.

Zamjena: Dr. sc. Vlasta Čosović, red. prof.

Rad prihvaćen: 06.09.2013.

University of Zagreb

Faculty of Science

Department of Biology

Graduation Thesis

**Population dynamics of *Synurella ambulans* (Müller, 1846) (Crustacea, Amphipoda) in the intermittent spring Krčić**

Jelena Babić

Rooseveltovej trg 6, 10 000 Zagreb, Croatia

Aquatic invertebrates have developed different strategies to adapt and to survive the dry season at intermittent springs. The population structure, density (ind. m<sup>-2</sup>) and reproduction of *Synurella ambulans* were studied at intermittent spring Krčić in Central Dalmatia to determine the strategy of adaptation. The sampling station represents eucrenal ecotone. Research was conducted once a month from April 2011 to June 2012 during the flow season, and with additional sample from April 2013. Samples were collected at three different types of substrates (microlithal, megalithal and moss) and basic physico - chemical characteristic of water were measured. The aim of the study was to determine reproductive strategy (operational sex ratio) and population dynamic in relation to the spring duration (time and length of the aquatic phase). The reproductive season of *S. ambulans* at intermittent spring Krčić was determined to be in groundwaters at the end of the dry season of the spring (September to November) because juveniles appeared in winter (December to January) soon after spring activation. The females appear to lay eggs in the groundwaters to produce one brood and then mostly die after release of the young. Only five ovigerous females were collected in January, March, April and May and it was not possible to determine fecundity. This population appears to have iteroparous (univoltine) type of life cycle. Males and females from the spring Krčić are among the smallest in Croatia and Europe, ranged from 2.24 to 5.25 mm and 2.38 to 7.35 mm, respectively.

(64 pages, 32 figures, 4 tables, 60 references, original in: Croatian language)

Thesis deposited in the Central biological library.

Key words: Amphipoda / Crangonyctidae / sex ratio / population density / life cycle / subterranean habitats / stygophiles / springs

Supervisor: Dr. Sanja Gottstein, Assoc. Prof.

Reviewers: Dr. Sanja Gottstein, Assoc. Prof.

Dr. Sandra Radić Brkanac, Asst. Prof.

Dr. Mladen Juračić, Prof.

Dr. Neven Bočić, Asst. Prof.

Replacement: Dr. Vlasta Čosović, Prof.

Thesis accepted: September, 6<sup>th</sup> 2013

## SADRŽAJ

1. UVOD .....	1
1.1. Tipologija i biologija izvora .....	1
1.2. Razlike u zajednicama makroskopskih beskralješnjaka stalnih i povremenih tekućica ..	5
1.3. Ekologija i dinamika populacija slatkovodnih rakušaca u izvorima .....	6
1.4. Biologija vrste <i>Synurella ambulans</i> .....	8
1.4.1. Opće značajke rakušaca (red Amphipoda) .....	8
1.4.2. Vrsta <i>Synurella ambulans</i> .....	10
1.5. Ekološka istraživanja rakušaca u izvorima Hrvatske .....	16
1.6. Ciljevi istraživanja .....	18
2. PODRUČJE ISTRAŽIVANJA .....	19
2.1. Hidrogeološka obilježja .....	20
2.2. Klimatska obilježja .....	22
2.3. Biološka obilježja .....	23
2.4. Opis istraživane postaje .....	24
3. MATERIJALI I METODE .....	26
3.1. Terenska istraživanja .....	26
3.2. Laboratorijska istraživanja .....	27
3.3. Statistička obrada podataka .....	29
4. REZULTATI .....	30
4.1. Fizikalno-kemijski čimbenici vode na izvoru Krčić .....	30
4.2. Dinamika gustoće populacija .....	34
4.3. Sezonska varijabilnost ontogenetske i spolne strukture populacija .....	37
4.4. Odnos spolova i fekunditet .....	45
4.5. Ontogenetske i spolne razlike ukupne dužine tijela .....	46
5. RASPRAVA .....	52
5.1. Fizikalno-kemijski čimbenici vode na izvoru Krčić .....	52
5.2. Dinamika gustoće populacija .....	53
5.3. Sezonska varijabilnost ontogenetske i spolne strukture populacija .....	55
5.4. Odnos spolova i fekunditet .....	55
5.5. Ontogenetske i spolne razlike ukupne dužine tijela .....	56
6. ZAKLJUČAK .....	57
7. LITERATURA .....	59

## 1. UVOD

### **1.1. Tipologija i biologija izvora**

Izvori su mjesta gdje podzemna voda izvire na površinu Zemlje, tvoreći vodotoke, ujezerenja ili močvare (GLAZIER, 2009a). U hijerarhiji sinekoloških pojmova izvori su jedinstveni ekosustavi koji čine ključnu poveznicu između podzemnih i površinskih voda te kopnenih i vodenih staništa (WEBB i sur., 1998, FUMETTI, 2008). Premda s jedinstvenim okolišnim uvjetima, izvori su ekotoni tj. prijelazna zona između dva ekološka sustava (FUMETTI, 2008), koju ovisno o tipu izvora, povremeno ili kontinuirano nastanjuju vrste podzemnih voda, potoka, rijeka, jezera i močvara. Mogu se pojaviti i ispod velikih vodenih površina – jezera, rijeka i oceana. S obzirom da voda u izvor dopijeva iz temperaturno stabilnog podzemlja, pokazuje male temperaturne oscilacije tijekom dana, sezone i godine. Većinom ih nastanjuju biljne i životinjske vrste koje preferiraju stabilnu temperaturu i kemijske uvjete vode te veliku prozirnost i čistoću vode. Kao rezultat toga živi organizmi su aktivni tijekom cijele godine. (GLAZIER, 2009a).

Općenito razmatrajući cikluse vode na Zemlji, sva izvorska voda podrijetlom je iz oborina. Kiša i otopljeni snijeg dopijevaju u podzemlje, gdje se nakupljaju u vodonosnim poroznim stijenama (vodonosniku ili akviferu) iznad nepropusne podloge. Gravitacijom, tlakom ili drugim silama podzemna voda istječe putem manjeg otpora, pojavljujući se na površini u obliku izvora na mjestu gdje vodno lice siječe površinu kopna (GLAZIER, 2009a).

Pojavljivanje izvora uvjetovano je kontaktom propusnog i nepropusnog geološkog sloja na površini ili postojanjem pukotina u stijeni koja je povezana sa sabirnim i izlaznim područjem podzemnih voda, a ovisi i o konfiguraciji terena i razini podzemnih voda (HERAK, 1990).

Znanstvena grana koja proučava živi svijet u izvorima naziva se krenobiologija, koju uvodi Botosaneanu (1998). Izvor (krenon ili krenal, grčkog korijena *creno* = izvor) obuhvaća dvije velike zone: izvorište - eukrenal ili mjesto gdje voda izlazi na površinu i izvorski tok - hipokrenal, tok nizvodno od izvora (GLAZIER, 2009a). Isključivi stanovnici izvora nazivaju se krenobionti. Do sada je u europskim potocima opisano oko 1500 različitih vrsta, od čega je 465 vrsta krenobionata ili krenofila. Fauna krških reokrenih izvora sastoji se od organizama koje je podzemna voda izbacila na površinu (ZOLLHÖFER, 2000).

Granica između eukrenala i hipokrenala nije oštra. Definira se kao područje gdje se godišnje oscilacije temperature ne mijenjaju više od 2°C (ERMAN i sur., 1995 cit. iz ZOLLHÖFER i sur., 2000).

Temperatura vode je približna srednjoj godišnjoj temperaturi zraka nekog područja (GLAZIER, 2009a). Osim temperature, i ostala fizikalno – kemijska obilježja su uglavnom stabilna i ujednačena. Relativna stabilnost uglavnom vrijedi za veće izvore koji su stalni, dok manji i povremeni izvori pokazuju manju ujednačenost abiotičkih čimbenika. Promjene i oscilacije su izraženije u povremenim izvorima, a fizikalno – kemijski parametri u velikoj mjeri ovise o količini oborina (SMITH i sur., 2002).

Sastav, gustoća i struktura faune koja nastanjuje izvore ovisi o stalnosti izvora. Na sastav faune izvora jače utječe povremena ili stalna prisutnost vode na izvoru nego struktura staništa (SMITH i sur., 2001 cit. iz SMITH i sur., 2003).

## TIPOLOGIJA IZVORA

U strukturnom pogledu, izvore najbolje obilježava morfometrija poriječja (površina i volumen), njihov položaj u krajobrazu te sastav flore i faune. Iznimna heterogenost u pristupu klasificiranja izvora na temelju njihove geologije, hidrologije, kemije vode, temperature vode, ekologije i ljudske upotrebe razlog je postojanja velikog broja različitih tipova izvora (GLAZIER, 2009a).

Biolozi klasificiraju izvore prema tipu vodenog staništa kojeg stvaraju (Tablica 1). Razlikuju se tri osnovna tipa izvora: (i) izvor koji tvori tok se naziva reokreni izvor, (ii) izvorski bazeni i ujezerenja se nazivaju limnokremnim izvorima, a (iii) helokreni izvori su zamočvareni izvori gdje voda izlazi kroz sloj mulja i difuzno kroz slojeve zemlje (GLAZIER, 2009a).

Hidrogeolozi klasificiraju izvore ovisno o strukturi vodonosnika i gornjih propusnih i nepropusnih slojeva, te ih dijele na silazne, preljevne i arteške, odnosno uzlazne izvore (HERAK, 1990). Na (i) silaznim izvorima voda temeljnica se izliva pod utjecajem gravitacije; na (ii) preljevnim izvorima voda se prelijeva preko neke nepropusne ili slabo propusne barijere, a na (iii) arteškim izvorima ukliještena voda izbija na površinu pod hidrostatskim tlakom (HERAK, 1990).



Tablica 1. Ekološka klasifikacija izvora (obrađeno prema GLAZIER, 2009a)

TIP KLASIFIKACIJE	HRVATSKI NAZIV	IZVORNI NAZIV	OPIS	AUTORI
PREMA TIPU STANIŠTA	REOKRENI	Rheocrene	tvori tok vode	
	LIMNOKRENI	Limnocrene	izvorski bazeni i ujezerenja	
	HELOKRENI	Helocrene	zamočvareni izvori gdje voda izlazi difuzno kroz slojeve zemlje ili mulja	Bornhauser, 1912; Thienemann, 1922
	REOKRENI HIGROPETRIK	Hygropetric rheocrene	tanki sloj vode koji teče vertikalno preko stijena	Bonettini i Cantonati, 1996; Verdonschot i Schot, 1986
	LINEARNI IZVOR	Linear springs	difuzan izlaz vode i kontinuirano pražnjenje duž izvorskog kanala	Zollhöfer i sur., 2000
	PSAMOKRENI	Psammocrene	izvor na pjeskovito-šljunkovitom supstratu	Crema i sur., 1996
	REOHELOKRENI	Rheohelocrene	prodirući reokreni izvor na muljevitom supstratu	Crema i sur., 1996; Gerecke i Di Sabatino, 1996
	REOLIMNOKRENI	Rheolimnocrene	tok vode ili ujezerenje	Nesterovich, 1996
	REOPSAMOKRENI	Rheopsammocrene	prodirući reokreni izvori na kamenom-šljunčanom supstratu	Gerecke i Di Sabatino, 1996
	PIŠTALINE	Sipeocrene	mali procjedni izvori	
	ZAMOČVARENI IZVORI	Spring mires	područja mokrog i blatnog terena na kojima izvire voda koja može sadržavati treset i/ili mineralne ostatke	Wolejko, 1996
	RAZNI TIPOVI HELOKRENIH IZVORA	Types of helocrenes based on pH (acid to neutral), nutrient levels (eutrophic, mesotrophic or oligotrophic), and variability of discharge (constant or fluctuating)	tipovi helokrenih izvora temeljeni na pH vrijednosti (kiseli, bazični), količini nutrijenata (eutrofni, mesotrofni i oligotrofni) i promjenjivosti pražnjenja (stalni ili oscilirajući)	Verdonschot, 1996
	REOKRENI BAZIRANI NA GEOLOŠKIM KARAKTERISTIKAMA	Types of rheocrenes based on geological setting (karst or alluvial) and presence or absence of travertine or lime sinters	tipovi reokrenih izvora temeljeni na geološkim karakteristikama (krški ili aluvijalni) i na prisutnosti ili odsutnosti sedre	Zollhöfer i sur., 2000
PREMA TIPU TERMALNIH IZVORA	REOTERMNI	Rheotherm	termalni reokreni	
	LIMNOTERMNI	Limnotherm	termalni limnokreni sa izvorskim bazenom dubljim od glavnog ispusta	
	TRIBLIOTERMNI	Trybliootherm	termalni limnokreni sa izvorskim bazenom plićim od glavnog ispusta	
	KOANOTERMNI	Choanotherm	termalni limnokreni sa izvorštem na dnu izvorskog bazena	
	HELOTERMNI	Helotherm	termalni helokreni	Tuxen, 1944

PREMA TIPU PROCJEDNI IZVORI ILI PIŠTALINE	OTVORENE PIŠTALINE	Open seeps		
	NADSDOĐENE PIŠTALINE	Canopied seeps		
	PLANINSKE PIŠTALINE	Montane seeps		
	PIŠTALINE SA BILJKAMA MESOŽDERKAMA	Pitcher plant seeps		Hobbs, 1992
VRSTA OBALE		Open land or meadow	otvorene ravnice ili livade	
		Forest or woods	šume	
		Bush or scrub land	grmovita vegetacija	
		Fen or swamp land	močvare	
		Human developed area	područje koje je čovjek obradio i razvio	Krütger, 1996
PREMA UDJELU VRSTA OGRANIČENIH NA IZVORE	/	/	kvantitativni indeks vrijednosti temeljen na šest kategorija ekološke distribucije; priznate su 5 vrijednosne klase ("tipična izvorska vrsta ili vrsta netipična za izvore")	Fischer, 1996; Hinterlang, 1996

## IZVORI U KRŠU

U krškim područjima hidrološka obilježja tekućica su vrlo složena zbog isprepletenosti podzemnih i nadzemnih tokova. Izvori su u osnovi analogni izvorima u ostalim terenima, ali postoje kvantitativne razlike. Neki se od njih odlikuju velikim količinama vode, drugi sasvim skromnima, jedni izviru čitave godine, drugi povremeno, a neki sasvim kratko (HERAK, 1990).

Za krška područja karakteristično je da ne obiluju nadzemnim tokovima jer se oborinska voda brzo infiltrira u podzemlje kroz pukotine u vapnencu. Riječni tokovi formiraju se na dijelovima terena koji su građeni od slabije propusnih naslaga (npr. dolomiti i fliš). U krškom području redovito se pojavljuju izvori koji mogu biti silaznog, preljevnog i uzlaznog tipa (HERAK, 1990). S obzirom na specifičnost i složenost krškog reljefa, krški izvori odlikuju se velikom raznolikošću s obzirom na dinamiku istjecanja vode, brzinu protoka vode, veličinu, morfologiju, itd. (GLAZIER, 2009a).

S obzirom na dinamiku protoka vode kroz izvor razlikujemo tri osnovna tipa izvora: kratkotrajni, povremeni i stalni izvori. Dije se na stalne koji nikad ne presušuju te na povremene koji su obično aktivni u jesen i u proljeće, te za vrijeme jakih oborina. Osim podjele na stalne i povremene, postoji još nekoliko specifičnih oblika izvora u kršu. Snažni uzlazni izvor pri kojem voda izbija iz unutrašnjosti krša na površinu naziva se "vaucluse"

prema izvoru Vauclose u Francuskoj te najveći broj izvora u dinarskom kršu pripada tom tipu. Potajnice su izvori gdje voda izbija na površinu na mahove i pripadaju povremenim izvorima. Estavele su hidrološke pojave koje za vrijeme jakih oborina izbacuju vodu, a kad nastupi sušni period tada voda ponire u njih (GOTTSTEIN MATOČEC i sur., 2002a).

## **1.2. Razlike u zajednicama makroskopskih beskralješnjaka stalnih i povremenih tekućica**

Unatoč znatnim sezonskim varijacijama u hidrologiji i ekologiji povremenih rijeka, razna mjerenja i indeksi, kao i višedimenzionalne analize potvrdile su jasnu razliku između dviju tipa tekućica, povremenih i kratkotrajnih (eng. „intermittent“ i „ephemeral“). Postojeći europski indeksi kvalitete ne razlikuju u dovoljnoj mjeri povremene i kratkotrajne tekućice, i time se ne može pouzdano razlučiti stupanj prirodne varijabilnosti od ljudski induciranih stresora u privremenim rijekama (ARGYROUDI i sur., 2009). Ekstremne sezonske varijacije režima protoka često uzrokuju nulti ili minimalni protok te je vodena površina ograničena na izolirane bazene vode uzduž tekućice. U povremenim tekućicama to rezultira promjenom karakterističnih uvjeta u lotičkoj i lentičkoj zoni tijekom godine (MORAIS i sur., 2004 cit. iz ARGYROUDI i sur., 2009).

Nekoliko studija pruža uvid u strukturu i svojstva bentoskih zajednica makrozoobentosa u mediteranskim privremenim rijekama (ARGYROUDI i sur., 2009). Međutim, postoji nedostatak informacija o ekološkom funkcioniranju mediteranskih riječnih ekosustava, posebice učinka poplava, suša, i varijabilnosti protoka na strukturu zajednice (BERNARDO i ALVES, 1999 cit. iz ARGYROUDI i sur., 2009).

MEYER i sur. (2003) su istraživali prostorni i vremenski režim istjecanja te utjecaj na zajednice bentosa dvaju krških potoka u Njemačkoj. Oba potoka vodom opskrbljuju mali stalni izvori i oba pokazuju longitudinalni gradijent hidrološke povremenosti od malog stalnog protoka s kratkotrajnim razdobljima presušivanja do ekstremno surovih hidroloških uvjeta. Zajednice bentosa pokazuju opadanje raznolikosti vrsta proporcionalno povećanju povremenosti toka. Većina pronađenih svojti su vodeni kukci (Insecta). Prema WOOD i sur. (2005) dominacija jedinki iz razreda Insecta veća je u povremenim izvorima. Postoje preklapanja u nađenim zajednicama stalnih i povremenih tokova (npr. Ephemeroptera,

Trichoptera i Plecoptera) (BLACKBURN i MAZZACANO, 2012), no bogatstvo vrsta opada s porastom isprekidanosti protoka vode (MEYER i sur., 2003). Sastav zajednice makrozoobentosa na izvorišnom području čvršće je povezan sa stabilnošću staništa, nego sa samom strukturom staništa (SMITH i sur., 2003). Brojna istraživanja pokazuju da je brojnost predstavnika reda Amphipoda značajno veća u stalnim izvorišnim tokovima nego u povremenim (SMITH i sur., 2003).

Za zajednicu makrozoobentosa sezonsko presušivanje predstavlja samo jedan ekstremni period u njihovom životnom ciklusu, te su razvili različite prilagodbe i strategije kako bi se zaštitili (FENOGLIO, 2007). Stoga fauna akvatičkih organizama koji žive u povremenim tekućicama ima sposobnost brzog oporavka nakon presušivanja (FLETCHER, 1986 cit. iz FENOGLIO, 2007).

### 1.3. Ekologija i dinamika populacija slatkovodnih rakušaca u izvorima

Većina predstavnika porodice Niphargidae nastanjuje različite tipove podzemnih voda (KARAMAN i RUFFO, 1986 cit. iz FIŠER i sur., 2007), a samo mali broj vrsta nastanjuje površinske vode (npr. KARAMAN, 1950; REJIC, 1956, 1958; SKET, 1958, 1981; GINET i DAVID, 1963; PETRESCU, 1997a, 1997b; FIŠER i sur., 2006 cit. iz FIŠER i sur., 2007), dok su predstavnici porodice Gammaridae uglavnom nađeni u površinskim vodama (PINKSTER, 1978 cit. iz FIŠER i sur., 2007). FIŠER i sur. (2007) su proučavali suživot dviju vrsta Amphipoda iz spomenutih porodica: *Niphargus timavi* S. Karaman, 1954 i *Gammarus fossarum* Koch, 1835, u malom potoku u jugozapadnom dijelu Slovenije. Ispod primarnog izvora potok ponire, teče oko 150 m ispod površine i ponovno izvire. Vrsta *G. fossarum* se ne pojavljuje u primarnom izvoru dok se obje vrste nalaze se na svim mjestima uzorkovanja ispod sekundarnog izvora tijekom cijele godine (FIŠER i sur., 2007), što ukazuje na činjenicu da se vrsta *G. fossarum* ne pojavljuje u dijelu vodotoka koji je podložan presušivanju i teče podzemno u dijelu godine tj. nastanjuje samo one dijelove toka koje driftom i uzvodnim migracijama mogu ponovno naseliti u slučaju površinskog presušivanja (ŘEZNÍČKOVÁ i sur., 2007).

Razlike u životnim ciklusima između vrsta *G. fossarum* i *N. timavi* nisu bile značajne, međutim, procijenjeni reproduktivni potencijal vrste *G. fossarum* je bio mnogo veći nego kod vrste *N. timavi*. Rezultat većeg reproduktivnog potencijala može biti dominacija predstavnika

nadporodice Gammaroidea u stalnim vodama, dok vrsta *N. timavi*, koja učestalo nastanjuje površinske vodotoke i izvore sjeverozapadnih Dinarida (FIŠER i sur., 2006), može preživjeti kompeticiju s vrstom *G. fossarum* te ljetne suše kada populacije roda *Gammarus* nestaju (FIŠER i sur., 2007).

Odsutnost vrste *G. fossarum* u gornje tri točke uzorkovanja ukazuje na nemogućnost da nastani sustav podzemnih pukotina i na nedostatak sposobnosti da se pojave nigdje osim u površinskim vodama (FIŠER i sur., 2007). Prisutnost vrste *N. timavi* u gornjem dijelu sugerira da bi mogli preživjeti suho razdoblje u tlu ili, pak, da aktivno traže, tj. slijede poniranje vode u podzemni sustav pukotina u sušnom razdoblju (MATHIEU i sur., 1987 cit. iz FIŠER i sur., 2007). Bolje veze s podzemnim vodama mogu biti od posebnog značaja za predstavnike porodice Niphargidae (FIŠER i sur., 2007).

Životni ciklus vrste *G. fossarum* je jasan, i sličan je životnim ciklusima nekoliko drugih vrsta roda *Gammarus* (npr. HYNES i HARPER, 1972; ZIELINSKI, 1995 cit. iz FIŠER i sur., 2007). Teže je interpretirati životni ciklus vrste *N. timavi*, nepostojanje jasnog vrhunca pojave juvenilnih jedinki i visok udio istih može se objasniti pretpostavljenom dugovječnošću i sporim razvojem jedinki vrsta roda *Niphargus* (GINET, 1960 cit. iz FIŠER i sur., 2007).

Većina slatkovodnih predstavnika nadporodice Gammaroidea su iteroparni i imaju multivoltini životni ciklus (WILDISH, 1982; SAINTEMARIE, 1991 cit. iz ŽGANEC i sur., 2011). Postoji razlika između populacija i vrsta nadporodice Gammaroidea koji se razmnožavaju kontinuirano (GUERAO, 2003; CASTIGLIONI i BUCKUP, 2008 cit. iz ŽGANEC i sur., 2011) i onih s ograničenim sezonskim reproduktivnim razdobljima (PÖCKL, 1993; PÖCKL i sur., 2003; BACELA i sur., 2009 cit. iz ŽGANEC i sur., 2011).

Većina studija o slatkovodnim rakušcima nadporodice Gammaroidea ispituje obilježja životnog ciklusa, biologiju razmnožavanja i sekundarnu produkciju vrsta roda *Gammarus* koje su široko rasprostranjene (SUTCLIFFE, 1992; 1993 cit. iz ŽGANEC i sur., 2011) ili invazivnih vrsta nadporodice Gammaroidea (npr., DEVIN i sur., 2004; BACELA i KONOPACKA, 2005; PISCART i sur., 2003; GRABOWSKI i sur., 2007; PÖCKL, 2007, 2009 cit. iz ŽGANEC i sur., 2011). Međutim, u jako malo studija su proučavane ekologija ili životni ciklus endemskih slatkovodnih predstavnika reda Amphipoda (npr., MORINO, 1994; ISHIKAWA i URABE, 2002; GUERAO, 2003 cit. iz ŽGANEC i sur., 2011).

Studije o životnim ciklusima endemskih rakušaca predstavljaju važne informacije u pokušajima da se poveća razumijevanje o neposrednim uzrocima endemizma kod slatkovodnih predstavnika reda Amphipoda (ŽGANEC i sur., 2011).

Važnost takvih studija postaje evidentna zbog kriznog stanja u bioraznolikosti slatkih voda koje je prepoznato posljednjih desetljeća (RICHTER i sur., 1997; MALMQVIST i RUNDLE, 2002; DUDGEON i sur., 2006 cit. iz ŽGANEC i sur., 2011).

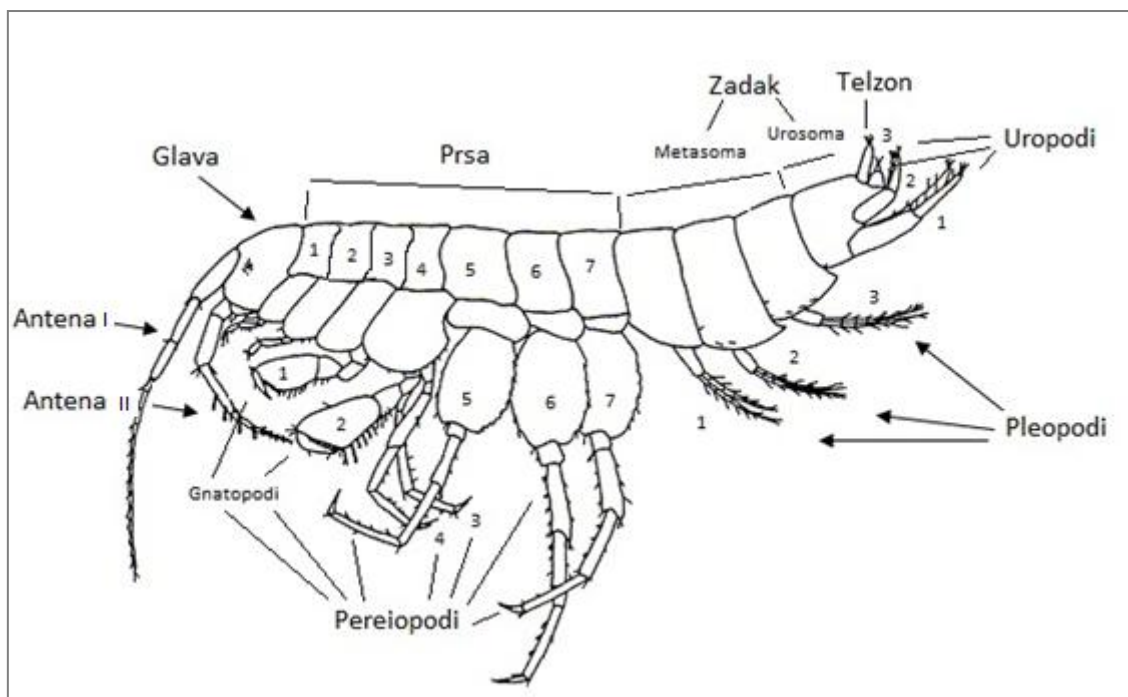
#### **1.4. Biologija vrste *Synurella ambulans***

##### **1.4.1. Opće značajke rakušaca (red Amphipoda)**

Vrsta *Synurella ambulans* (F. Müller, 1846) je predstavnik rakušaca reda Amphipoda (rakušci) i porodice Crangonyctidae. Rakušci su široko rasprostranjena skupina na različitim slatkovodnim i morskim staništima, pri čemu su većinom morske vrste, dok slatke vode naseljava samo oko 20% vrsta. Najpogodnije životno stanište slatkovodnim vrstama je hladno i umjereno područje, gdje su najbrojniji u podzemnim vodama i nadzemnim tekućicama, dok su u tropskim područjima rijetki (VÄINÖLÄ i sur., 2008).

Tijelo rakušaca (Slika 1) je lateralno spljošteno i podijeljeno na 13 segmenata koji čine glavu, prsa i zadak. Glava je spojena sa prsima, a na njoj se nalaze dva para antena, složene oči i čeljust od tri para privjesaka, a funkciji čeljusti se pridružuju i čeljusne noge koje su prvi par privjesaka na prsima. Na njima se nalazi 8 parova jednogranih privjesaka, od kojih je sedam pereopoda. Škrge se nalaze pri bazi pereopoda. Zadak je podijeljen na dva dijela: pleosomu koja nosi noge za plivanje i urosomu koja uključuje telzon i tri para uropoda (GLAZIER, 2009b).

Za predstavnike porodice Crangonyctidae, kojoj pripada rod *Synurella*, ključna morfološka obilježja koja ih odvajaju od predstavnika ostalih porodica je izostanak trbušnog zakrivljenja na glavinom segmentu uz ticalo (ventralni antenalni sinus) te kratka unutrašnja grana (ramus) trećeg uropoda. Također je vrlo svojstveno za prepoznavanje predstavnika ove porodice u Hrvatskoj samo djelomično razdijeljen telzon vršno bogato opremljen trnovima (Slika 1) (BARNARD i KARAMAN, 1983).



Slika 1. Vanjska morfologija vrste *Synurella ambulans* (obrađeno prema GLAZIER, 2009b)

Razmnožavanje rakušaca započinje stvaranjem prekopulacijskih parova tzv. amplexus. Mužjak dolazi iznad ženke, prihvaća se prednjim, manjim gnathopodima za jedan od segmenata kokse ženke, ovisno o vrsti, i drži ju dok se ženka ne presvuče kako bi nastupila ovulacija ili ga potjera drugi mužjak. Stražnji gnathopodi mužjaka ostaju slobodni za obranu. Prekopulacija je relativno kratak period jer kod ženke mora nastupiti ovulacija odmah nakon skidanja svla (egzuvije) dok je egzoskelet dovoljno prilagodljiv kako bi jaja mogla proći kroz ovidukt do ležnog prostora (marsupija) u kojem dolazi do vanjske oplodnje. Nakon kopulacije ženka i mužjak se odvajaju. Ženke nose jaja u marsupiju dok se ne izlegu mladi i napuste ležni prostor (GLAZIER, 2009b).

Rakušci su razdvojenog spola. Spolni sustav čine parne gonade, kod ženka to su ovariji (jajnici) i uski ovidukti (jajovodi), a kod mužjaka testisi (sjemenici) koji se šire u sjemeni vrećicu (*vesicula seminalis*) iz kojeg dalje vodi sjemenovod (*vas deferens*) koji se otvara na ventralnoj strani sedmog segmenta pereiona kroz dvije genitalne papile. Ženkama tijekom spolnog sazrijevanja na području stražnjeg unutrašnjeg ruba baze drugog do petog pereiopoda izrastaju ležne ploče (oostegiti) koje zajedno s ventralnim dijelom tijela životinje čine ležni prostor (marsupij). Kasnije na rubovima pojedinih ležnih ploča izrastaju nitaste izrasline (sete) koje se međusobno isprepliću i učinkovito zadržavaju leglo (MATONIČKIN i

sur., 1999). Većina slatkovodnih rakušaca su iteroparni (proizvode više legla tijekom životnog vijeka) (GLAZIER, 2009b). Kod slatkovodnih predstavnika reda Amphipoda postoji spolni dimorfizam, pri čemu kod vrsta roda *Crangonyx* iz porodice Crangonyctidae ženke su veće od mužjaka, što nije slučaj kod predstavnika porodice Gammaridae (SUTCLIFFE, 1992).

Većina slatkovodnih rakušaca su sakupljači organskog otpada, oportunisti i omnivori. Mogu se hraniti organskim detritusom, listincem, algama, mikroorganizmima, gljivama te živom i mrtvom organskom tvari. Neki rakušci su predatori i kanibali naročito na juvenilnim jedinkama (GLAZIER, 2009b).

Rakušci su važan dio vodene podzemne faune u gotovo cijelom području Hrvatske. Do danas su utvrđene 64 troglomorfne vrste i podvrste iz devet porodica (Bogidiellidae, Crangonyctidae, Gammaridae, Hadziidae, Melitidae, Niphargidae, Typhlogammaridae, Salentinellidae, Pseudoniphargidae), a nalazimo ih u podzemnim morskim, bočatim i slatkim staništima. Najbrojnija je porodica Niphargidae, ako se uzme u obzir ukupan broj svojti te endemskih vrsta ili podvrsta. Devetnaest od 52 svojte (vrsta i podvrsta) iz roda *Niphargus* su endemi u Hrvatskoj. Postoji 46 stigobionta i šest stigofila. Porodica Gammaridae ima samo jednog stigobionta, rod *Accubogammarus* G. Karaman, dvije vrste koje su neznatno troglomorfne, *Rhipidogammarus karamani* Stock i *Rhipidogammarus rhipidiophorus* Catta, te nadzemne svojte iz rodova *Echinogammarus* Stebbing i *Fontogammarus* S. Karaman zabilježene u krškim izvorima. Porodica Crangonyctidae zastupljena je u Hrvatskoj sa samo jednom vrstom *Synurella ambulans* koja nastanjuje podzemne i nadzemne vode, a pojavljuje se u stigofilnoj i stigobiontnoj formi (GOTTSTEIN MATOČEC, 2002a).

#### 1.4.2. Vrsta *Synurella ambulans*

F. Müller je 1846. godine prvi put opisao vrstu *Synurella ambulans* na području Njemačke, ali kao vrstu *Gammarus ambulans*. Wrześniowski je tek 1877. godine opisao rod *Synurella* (KARAMAN, 1974) i prva vrsta pridodana tom rodu bila je *S. ambulans*. Rod *Synurella* pripada porodici Crangonyctidae i trenutno se unutar roda nalazi 18 vrsta, pri čemu je 12 vrsta rasprostranjeno u Europi i Maloj Aziji (HOLSINGER, 1974). *Synurella* je slatkovodni rod rakušaca koji se sastoji od 18 vrsta, većinom poznatih iz Azije i bivšeg USSR-a (9 vrsta), 4 vrste iz Sjeverne Amerike i 5 vrsta iz Europe i Male Azije (KARAMAN, 1974, 2003; LOWRY, 2013). Na temelju brojnih revizija danas su prihvaćene sljedeće vrste



ovog roda (prema podacima sa <http> 1): *S. ambulans* (F. Müller, 1846) (Europa, Mala Azija), *S. apscheronia* (Derzhavin, 1945) (Azerbajdžan), *S. behningi* (Birstein, 1948) (Rusija), *S. bifurca* (O.P.Hay, 1882) (SAD), *S. chamberlaini* (Ellis, 1941) (SAD), *S. coeca* (Doboreanu & Manolache, 1951) (Rumunjska), *S. dentata* Hubricht, 1943 (SAD), *S. dershavini* Behning, 1928 (Rusija), *S. donensis* (Martynov, 1919) (Rusija), *S. intermedia* Doboreanu, Manolache & Puscariu, 1952 (Rumunjska), *S. jakutana* Martynov, 1931 (Rusija), *S. johanseni* Shoemaker, 1920 (SAD), *S. longidactylus* S. Karaman, 1929 (Makedonija), *S. meschtscherica* (Borutzky, 1929) (Rusija), *S. osellai* Ruffo, 1974 (Turska), *S. philareti* Birstein, 1948 (Rusija), *S. stadukhini* Derzhavin, 1930 (Rusija) i *S. wachushtii* (Behning, 1940) (Rusija) (HOLSINGER, 1974; LOWRY, 2013). Prema novijim izvorima navodi se 19 vrsta roda *Synurella* no bez navođenja pojedinih vrsta (SIDOROV i PALATOV, 2012)

### SISTEMATIKA

CARSTVO Animalia Linnaeus, 1758

KOLJENO Arthropoda Latreille, 1829

POTKOLJENO Crustacea Brünnich, 1772

RAZRED Malacostraca Latreille, 1802

PODRAZRED Eumalacostraca Grobben, 1892

NADRED Peracarida Calman, 1904

RED Amphipoda Latreille, 1816

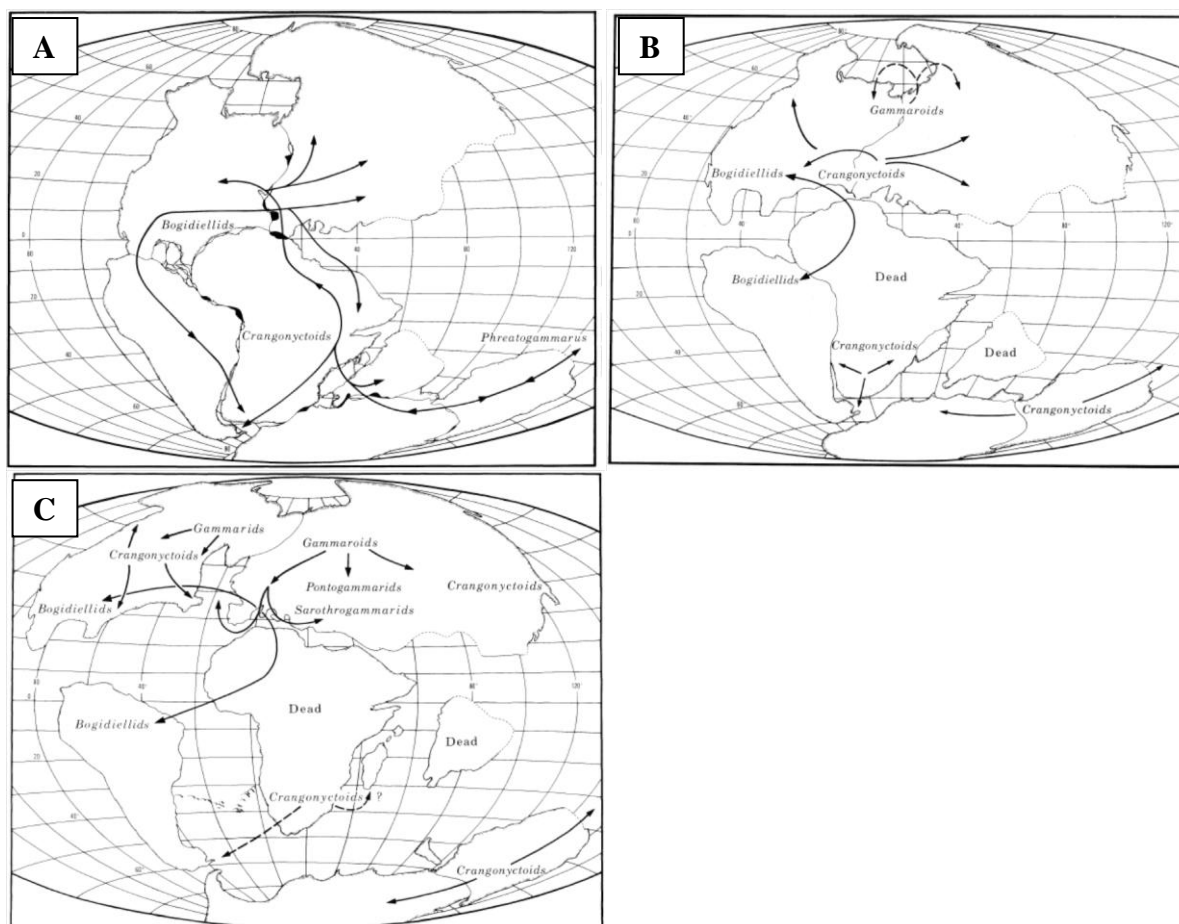
PODRED Gammaridea Latreille, 1802

PORODICA Crangonyctidae Bousfield, 1973

ROD *Synurella* Wrześniowski, 1877

Vrsta *S. ambulans* je rakušac koji pripada porodici Crangonyctidae i autohtona je vrsta u ponto-kaspijskoj regiji te središnjoj i istočnoj Europi (BOETS i sur., 2010). Kroz povijest je porodica Crangonyctidae (Slika 2) bila rasprostranjena na velikom dijelu zemljine kore, nekadašnjoj Pangei. Euroazija je slabo nastanjena tom porodicom radi uspješnije evolucije slatkovodnih porodica Gammaridae i Niphargidae, s time da niti jedna od te dvije porodice nije nastanila južnu hemisferu. Australiju, Južnu Afriku, Euroaziju i Sjevernu Ameriku nastanjuju rakušci koji imaju mnogo zajedničkih karakteristika, uključujući

prsne škrge. Te rakušce je BOUSFIELD (1977) klasificirao kao porodicu Crangonyctidae. Rakušci bez prsnih škrge pripadaju porodici Gammaridae. Slatkovodni rakušci porodica Gammaridae i Crangonyctidae izbjegavaju tropske krajeve i prilagodili su se hladnoj vodi i klimi. Današnja rasprostranjenost rakušaca pokazuje da je porodica Crangonyctidae bila široko rasprostranjena na Pangei (nikada nije nastanila Južnu Ameriku, no uspjela je u Sjevernoj Americi). Zbog velikih ekoloških promjena porodica u Australiji i Južnoj Africi postoji samo kao relik. Porodica je skoro izumrla na području Euroazije radi evolucijski uspješnijih porodica Gammaridae i Niphargidae, no KARAMAN (BARNARD i KARAMAN, 1983) smatra da je porodica Crangonyctidae došla kasnije od porodice Gammaridae. Mnogi predstavnici porodice Crangonyctidae, posebno rod *Synurella*, danas se šire zbog visoke tolerancije na promjenu količine kisika i temperature vode, te prilagodbe na podzemni život. KARAMAN (BARNARD i KARAMAN, 1983) smatra da je porodica Crangonyctidae u Ameriku došla prva, a u Europu porodica Gammaridae. To objašnjava dominacija nekih skupina u današnje vrijeme (BARNARD i KARAMAN, 1983).



Slika 2. (A) Pangea. Hipotetski putevi kretanja rakušaca temeljena na današnjoj distribuciji. (B) Kasnija Tetis era. Porodica Crangonyctidae se razdvaja. (C) Porodica Crangonyctidae se dijeli na 4 grupe (Nearktička, Palearktička, Južno Afrička i Notogejska uključujući i Falklandsko otočje i Madagaskar). Gammaroidea se dijele kasnije. (preuzeto i obrađeno prema BARNARD i KARAMAN, 1983)

Vrsta *S. ambulans* zabilježena je u mnogim zemljama Europe uključujući Belgiju (BOETS i sur., 2010.), Njemačku (HECKES i sur., 1996; ZETTLER, 1998; EGGERS i MARTENS, 2001 cit. iz SIDOROV i PALATOV, 2012), Poljsku (KONOPACKA i SOBOCINSKA, 1992 cit. iz SIDOROV i PALATOV, 2012), Litvu (ARBAČIAUSKAS, 2008) i Bjelorusiju (GIGINYAK i MOROZ, 2000 cit. iz SIDOROV i PALATOV, 2012). Do 2010. vrsta je pronađena na nekoliko izoliranih mjesta u Njemačkoj, Italiji i Švicarskoj izvan svog prirodnog obitavališta (HECKES i sur., 1996; MÜRLE i sur., 2003 cit. iz BOETS i sur., 2010).

S obzirom na nedavna otkrića vrste *S. ambulans* u području Crnog mora (KETELAARS, 2004 cit. iz SIDOROV i PALATOV, 2012), Ukrajini (ALEXANDROV i sur., 2007) i Belgiji (BOETS i sur., 2010), vrsta *S. ambulans* je dodijeljena grupi ponto-kaspijskih invazivnih vrsta, iako ne postoje čvrsti dokazi za tu pretpostavku (SIDOROV i PALATOV, 2012).

Vrsta *S. ambulans* se može naći u slatkovodnim staništima u nizinama, kao i brdsko-planinskim rijekama, u malim ribnjacima, barama, povremenim lokvama i malim potocima. No zabilježene su i podzemne populacije (HECKES i sur., 1996 cit. iz BOETS i sur., 2010).

Zajednička osobina svih koloniziranih staništa su niska brzina protoka i stabilna temperatura vode, koja je često pod utjecajem dotoka podzemnih voda (BOETS i sur., 2010). Kao što je primijećeno i potvrđeno od strane drugih, ova vrsta se može naći u površinskim vodama koje povremeno presušuju (ARBAČIAUSKAS, 2008).

Karakteristična obilježja svih mikrostaništa su da ili vode stagniraju ili vrlo sporo teku, ne više od 0,1 m/s, temperatura vode je općenito u rasponu između 2 i 16°C, niska koncentracija kisika 3,0-9,0 O<sub>2</sub> mg/L, pH između 5,0-8,0 i nizak stupanj mineralizacije, ne veći od 197,5 - 353,1 mg/L (NESEMANN i sur., 1995; GIGINYAK i MOROZ, 2000; CHERTOPRUD, 2006a cit. iz SIDOROV i PALATOV, 2012). Izvori su često prekriveni sa biljnim vrstama roda *Lemna* i *Hydrocharis*, ili su gusto zarasla vrstama roda *Elodea* i *Fontinalis*. Dna se sastoje od razgrađenih organskih tvari, pijeska, blata i trulog lišća. Vrsta *Dendrocometes paradoxus* Stein, 1852 (Protozoa, Infusoria, Suctoria) je čest ektoparazit na škrgama vrste *S. ambulans* (TAYLOR i SANDERS, 2001 cit. iz SIDOROV i PALATOV, 2012).

Vrstu *S. ambulans* karakterizira reniformni tip očiju, s oscilacijama u broju ocela, žuta točka na vrhu glave koja predstavlja hipertrofiju probavne žlijezde, spojena urosoma, treći par uropoda koji je znatno kraći od ostalih i sastavljen od jedne grane te uski relativno duboko urezani telzon (HOLSINGER, 1972; EGGERS i MARTENS, 2001 cit. iz BOETS i sur., 2010; SIDOROV i PALATOV, 2012). Spol se određuje na temelju prisutnosti spolnih papila na sedmom segmentu pereonita kod mužjaka i prisutnosti oostegita od drugog do petog pereiopoda kod ženki (KONOPACKA i BLAZEWICZ-PASZKOWYCZ, 2000).

Iako je ARBAČIAUSKAS (2008) pretpostavio da vrsta *S. ambulans* ima neki tip dijapauze u životnom ciklusu, koja omogućuje vrsti da preživi sezonske promjene protoka vode, dijapauza nije potrebna, jer mnogi potoci sa suhim razdobljima imaju podzemni tok cijele godine koji djeluju kao utočište (BOETS i sur., 2010).

Zabilježeno je da vrsta *S. ambulans* ima iteroparni, univoltini životni ciklus s reproduktivnim vrhuncem od svibnja do srpnja te jedinke nove generacije spolno sazrijevaju u ožujku one godine koja slijedi (KONOPACKA i BLAZEWICZ-PASZKOWYCZ, 2000).

Malo se zna o prehrambenim navikama i utjecaju ove vrste na druge vrste makrozoobentosa. Stoga su potrebna dodatna istraživanja kako bi se procijenio utjecaj *S. ambulans* na autohtone zajednice makrozoobentosa (BOETS i sur., 2010). ). No utvrđeni su učestali nalazi ove vrste u suživotu s vrstom *Asellus aquaticus* (Linnaeus, 1758) (GOTTSTEIN i sur., 2000; SIDOROV i PALATOV, 2012) te s polupodzemnom vrstom *Niphargus valachicus* Dobreanu i Manolache, 1933 (SKET, 1981; GOTTSTEIN i sur., 2000).

Premda se smatra vrstom široke ekološke valencije zbog rasprostranjenosti u različitim tipovima staništa Hrvatske, općenito se ubraja u kategoriju stigofilnih vrsta budući da je prilagođena provoditi dio svog života u podzemlju (GOTTSTEIN i sur., 2000; MIHALJEVIĆ i sur., 2000, GOTTSTEIN MATOČEC i sur., 2002a, b), ali s nedostatkom tipičnih stigomorfnihih karakteristika kao npr. anoftalmija, depigmentacija i reduciran fekunditet (ženke normalno produciraju ne manje od 11 – 20 manjih jaja) (KARAMAN, 1974, 1990; BARNARD i BARNARD, 1983 cit. iz SIDOROV i PALATOV, 2012). U Hrvatskoj je čest stanovnik stalnih i povremenih izvora, hipotelminoreičke zone, hiporeičke zone, eutroficiranih lokvi uz poplavne rijeke, a pojavljuje se i na dnu dubokih jezera kao što je Vransko jezero na otoku Cresu, na dubinama od 50-70 metara, te obodnih i drenažnih kanala akumulacija uz rijeku Dravu (GOTTSTEIN i sur., 2000; MIHALJEVIĆ i sur. 2000, GOTTSTEIN MATOČEC i sur. 2002a, b). Osim toga do sada su na području Hrvatske zabilježeni nalazi i podzemne forme ove vrste na različitim tipovima staništa povezanih s podzemnim vodama kao što su veliki krški izvori i pripadajući špiljski sustavi te intersticijske podzemne vode nizinske Hrvatske (GOTTSTEIN MATOČEC i sur. 2002a, b). Riječ je o formi *Synurella ambulans* f. *subterranea* S. Karaman, koja je u potpunosti troglomorfna. KARAMAN (1974) je istaknuo značajnu varijabilnost u nekoliko morfoloških značajki kod nadzemne i podzemne forme vrste *S. ambulans* koje su sinonimizirane.

Životni ciklus vrste *S. ambulans* u Hrvatskoj do sada je istraživao samo u okviru jednog diplomskog rada (ŠKALEC, 2012) na povremenim i stalnim izvorima uz Gojačku Dobru. Jedini rad koji se temelji na ciljnom istraživanju životnog ciklusa ove vrste je proveden na području Poljske (KONOPACKA i BŁAŻEWICZ-PASZKOWYCZ, 2000). Osim toga postoje tek sporadična saznanja o dinamici razmnožavanja vrsta koje dio svog života zalaze u

podzemne vode, a dio provode u nadzemnim vodenim staništima (FIŠER i sur. 2007), osobito neke populacije rakušaca čije vrste nastanjuju i izvore i podzemne vode (GLAZIER, 1999, 2009b).

### **1.5. Ekološka istraživanja rakušaca u izvorima Hrvatske**

Istraživanja rakušaca u Hrvatskoj započela su sredinom 19. stoljeća. No intenzivna biološka istraživanja intersticijskih podzemnih voda započinju tridesetih godina 20. stoljeća od strane Stanka Karamana koji ih provodi sve do smrti 1959. Godine, a nastavlja njegov sin Gordan Karaman (GOTTSTEIN MATOČEC i sur., 2002a). 60-ih godina, i do kraja 80-ih Meštrov, Lattinger i ostali znanstvenici sa zagrebačkog Sveučilišta istraživali su rakušce iz područja intersticija, posebno u dolini Save i na obroncima Medvednice (LATTINGER, 1988, 1989; MEŠTROV, 1960a, 1961.; MEŠTROV i sur., 1983, 1986 cit. iz GOTTSTEIN MATOČEC, 2002a). Recentna istraživanja nadzemnih i podzemnih rakušaca u svim dijelovima Hrvatske provode Gordan Karaman, Sanja Gottstein i Krešimir Žganec (GOTTSTEIN i sur., 1998, 1999, 2000, 2007, 2012; GOTTSTEIN MATOČEC i sur., 2002a; KARAMAN i GOTTSTEIN MATOČEC, 2006; ŽGANEC i GOTTSTEIN, 2009; ŽGANEC i sur., 2011, 2013).

Stanko i sin Gordan Karaman su najplodniji istraživači podzemne faune rakušaca u Hrvatskoj. Opisali su značajan broj novih vrsta, naročito u špiljama i izvorima oko Dubrovnika i u psamolitoralu uz jugoistočnu obalu Jadranskog mora.

Više rakove (Crustacea: Isopoda, Amphipoda, Decapoda) slatkih i bočatih voda porječja rijeke Krke u Dalmaciji sporadično su istraživali domaći i strani znanstvenici krajem 19. i tijekom 20. stoljeća. Istraživanja su u početku bila uglavnom sistematsko-faunistička, a kasnije slijede i biocenološka istraživanja (GOTTSTEIN i sur., 2005).

Rakušci istraživanih područja se, osim po broju vrsta, ističu i ukupnom raznolikošću svojti, sa 7 rodova koji pripadaju četirima porodicama. Nadzemni rakovi zastupljeni su sa 16 vrsta, a podzemni, stigobiontski raci s 11 vrsta. Četiri svojte su endemi Hrvatske (GOTTSTEIN i sur., 2005).

Istraživanjem rakova iz skupine Amphipoda posebno se istakao S. Karaman (KARAMAN, 1931; 1932; 1935; 1943; 1952; 1958 cit. iz GOTTSTEIN i sur., 2005), koji je

opisao za znanost novu podvrstu *Fontogammarus dalmatinus krkensis* S. Karaman, 1931 s izvora Krke, koju su kasnije drugi istraživači zabilježili i u izvorskim područjima susjednih vodotoka (MATONIČKIN i PAVLETIĆ, 1960; 1962; HABDIJA, 1990 cit. iz GOTTSTEIN i sur., 2005). Usprkos relativno brojnim istraživanjima i opsežnoj literaturi, razina istraženosti viših rakova u porječju rijeke Krke još uvijek je relativno niska (GOTTSTEIN i sur., 2005).

Na području sliva rijeke Krke rakušci (Amphipoda) su zastupljeni s 13 vrsta iz 7 rodova i 5 porodica. Porodica Crangonyctidae ima jednog predstavnika iz roda *Synurella*. Predstavnicu porodice Gammaridae prisutni su s vrstama iz rodova *Echinogammarus* (4 vrste), *Fontogammarus* (1 vrsta) i *Gammarus* (2 vrste). Porodica Hadziidae ima jednog predstavnika iz roda *Hadzia*, porodica Niphargidae zastupljena je s 3 vrste iz roda *Niphargus*, ali se unutar ovog roda može očekivati daleko veći broj vrsta budući da sve jedinice nisu određene do razine vrste, te porodica Typhlogammaridae s jednim predstavnikom iz roda *Typhlogammarus* (GOTTSTEIN i sur., 2005)

Najveći broj vrsta na jednom lokalitetu zabilježen je na Topoljskom ili Velikom buku tj. izvoru Krčiću, na kojem je utvrđeno šest vrsta, od toga dvije stigobiontske. Izvor Krčić ujedno je i tipski lokalitet za vrstu *Fontogammarus dalmatinus krkensis*, koja se smatra izvorišnom (krenobiontskom) vrstom (GOTTSTEIN i sur., 2005).

Provedena dosadašnja istraživanja na izvorišnom području rijeke Krke ukazuju da je važno započeti sustavna ekološka istraživanja pojedinih vrsta u cilju utvrđivanja specifičnih uvjeta staništa, ali i biologije pojedinih vrsta, s naglaskom na analizu dinamike životnog ciklusa utvrđenih vrsta viših rakova (GOTTSTEIN i sur., 2005). Stoga ovaj diplomski rad predstavlja važan kamenčić u mozaiku znanstvenih istraživanja s tom tematikom na istraživanom području.

## 1.6. Ciljevi istraživanja

Na temelju dobivenih podataka, obrađenih u programu Microsoft Excell 2010 i Statsoft Statistica 10, analizirana je struktura populacija te životna i reproduktivna strategija vrste *Synurella ambulans* u ovisnosti o dinamici istjecanja vode na izvoru Krčić. Dobiveni je uvid o gustoći pojedinih ontogenetskih sastavnica populacija, fekunditetu, odnosu spolova te utjecaju fizikalno-kemijskih parametara vode na dinamiku populacija.

Istražujući dinamiku populacija vrste *Synurella ambulans* na izvoru Krčić provedeno je sljedeće:

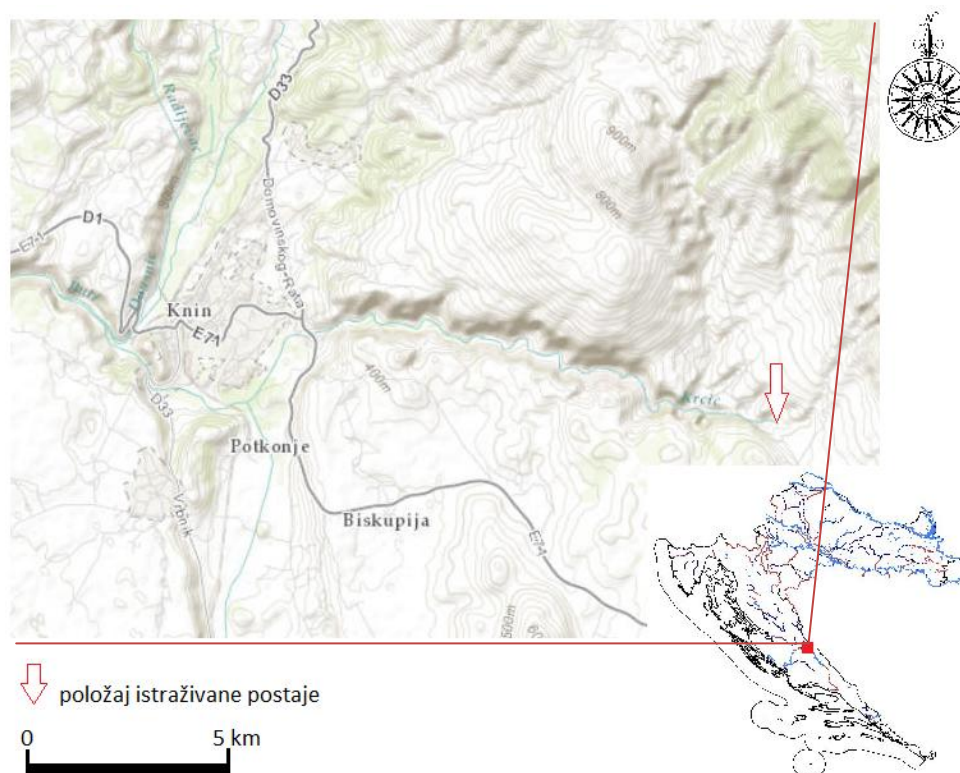
- utvrđena je struktura, gustoća i dinamika populacije s obzirom na obilježja mikrostaništa (kameniti supstrat, šljunak i mahovina);
- analizirana je ontogenetska struktura populacija;
- utvrđena je dinamika razmnožavanja;
- utvrđen je udio spolova (sex-ratio), potencijalna prisutnost i udio inter-sexa;
- temeljem analize spolne i ontogenetske strukture populacija utvrđena je reproduktivna biologija vrste ovisno o dinamici istjecanja vode na izvoru, godišnjem dobu i fizikalno-kemijskim obilježjima vode;
- testirana je razlika u udjelima i dimenzijama pojedinih ontogenetskih stadija s obzirom na razdoblje početka istjecanja vode na izvoru i neposredno prije povlačenja vode u podzemlje tj. isušivanja izvora.

Broj kohorti nije bilo moguće utvrditi zbog premalog broja ovigernih ženki i neujednačenog vremenskog pojavljivanja jedinki različitih veličinskih kategorija.



## 2. PODRUČJE ISTRAŽIVANJA

Izvor rijeke Krčić nalazi se u Šibensko-kninskoj županiji, oko 12 km istočno od Knina na nadmorskoj visini od oko 370 m u podnožju planine Dinare (Slika 3). Nakon desetak kilometara, Krčić završava svoj kratki površinski tok ulaskom u Kninsko polje gdje se kod mjesta Topolje prelijeva preko 22 metra visokog slapa zvanog Veliki ili Topoljski buk. U špilji ispod slapa na nadmorskoj visini od oko 223-225 m nadmorske visine smješten je glavni izvor Krke (JUKIĆ, 2006). Krčić je u morfogogenetskom pogledu izvorište Krke, s kojom je u prošlosti tvorila jednu tekućicu (ŠEGOTA, 1968., FRIGANOVIĆ, 1990 cit. it PERICA i sur., 2005). Izmjenom klime, okršavanjem i nepovoljnim djelovanjem čovjeka Krčić je postao povremena tekućica (FRIGANOVIĆ, 1990). Rijeka Krčić zajedno s rijekom Krkom čini jedinstven hidrografski sustav s obiljem krško-hidrografskih i morfoloških fenomena. Krčić se odlikuje dubokim i slikovitim kanjonom, koji u svom završnom dijelu obiluje lijepo otkrivenim fleksurama geoloških slojeva iz razdoblja trijasa i jure te zanimljivim denudacijskim reljefnim oblicima. U kanjonu rijeke Krčić se nalaze i sedrena slapišta od kojih je najljepši i najimpozantniji Topoljski buk pod kojim izvire Krka (BABAČIĆ AJDUK, 2011).



Slika 3. (A) Topografska karta s prikazom položaja izvora Krčić (izvor: ArcMap); (B) smještaj rijeke Krčić na karti vodotoka Hrvatske (izvor: Hrvatske vode).

## 2.1. Hidrogeološka obilježja

Krška područja općenito karakterizira bezvodnost. Međutim, gornji dio poriječja Krke ipak je obilježen brojnim tekućicama, što je ponajprije uvjetovano hidrogeološkim značajkama stijena (PERICA i sur., 2005).

Prostor Krčića i izvora Krke građen je pretežno od jurskih naslaga karbonatnih stijena (Slika 4). Iznimka je antiklinala duž toka Krčića koja je građena iz gornjotrijaskih dolomita. Propusnost dolomita ovisi o njihovoj tektonskoj oštećenosti i razlomljenosti (JUKIĆ, 2006). Pretpostavlja se da su na ovaj način razdvojene podzemne vode područja sjeverno od Krčića od voda južnog područja. Vode iz sjevernog područja usmjerene su prema Glavnom izvoru Krke i Crnom vrelu, dok su vode s područja južno od Krčića usmjerene prema Malom vrelu, Lopuškom vrelu i Kosovčici (JUKIĆ, 2006).

Kako dolomiti mogu propuštati vodu na mjestima gdje su jače tektonski oštećeni, pretpostavlja se da voda na Glavni izvor Krke dolazi uzduž tektonski razlomljene zone u desnom boku antiklinale. Područje između izvora Krčića i Cetine građeno je od dobro propusnih naslaga donje krede. Stoga vododjelnica prema slivu Cetine se mijenja unutar jednog pojasa ovisno o nivoima podzemnih voda (tzv. podzemna zonarna razdjelnica) (JUKIĆ, 2006).

Dinarski planinski masiv, građen iz naslaga malma, ima hidrogeološku funkciju relativne barijere te usmjerava tokove podzemnih voda u smjeru paralelnom svom pružanju. Područje između Dinare i Krčića je podijeljen u niz tektonskih blokova bez pravilne strukture. Prema hipotezi iznesenoj u hidrogeološkoj studiji iz 1984. godine, znatan dio vode na izvor Krčića pritječe iz područja Uništa uzduž rasjeda s južne strane Dinare (JUKIĆ, 2006).



započinje najčešće sredinom srpnja, a završava krajem rujna, no može produžiti i do sredine studenog. U dva navrata Krčić je presušio zimi (BONACCI i PERICA, 1990).

Tijekom 2011. godine Krčić je presušio u sredinom lipnja, a površinski tok ponovno je uspostavljen tek početkom prosinca iste godine, što se može smatrati do sada najdužim razdobljem trajanja suše na izvoru (Slika 5).

Vodonosnici izvora Krke, Krčića i Cetine različite su retencijske i akumulacijske sposobnosti što je jednim dijelom posljedica različite razvijenosti mreže podzemnih kanala, dok je drugim dijelom posljedica nadmorske visine i relativnog visinskog položaja triju analiziranih izvora u odnosu na njihove vodonosnike, odnosno različitog načina funkcioniranja. Izvori Cetine se nalaze na najvišoj koti i uglavnom prazne gornje horizonte područja Dinare i zapadnog dijela Livanjskog polja. Njihov vodonosnik ima najmanju retencijsku sposobnost, što ukazuje na postojanje dobro razvijene mreže podzemnih kanala koji ga dreniraju. Izvor Krčića je smješten tridesetak metara niže od izvora Cetine na kontaktu propusnog zaleđa i nepropusne hidrogeološke barijere, koja se proteže duž toka Krčića. Premda izvor ima najmanji kapacitet i presušuje redovito svake godine, njegov vodonosnik ima najveću retencijsku sposobnost, što je vjerojatno posljedica nešto slabije okršenosti prostora u njegovom zaleđu (JUKIĆ, 2006). Između vodonosnika izvora Krčića i Cetine postoji znatno veća hidrološka povezanost nego između vodonosnika izvora Krčića i glavnog izvora Krke iz čega se može zaključiti da izvor Krčića i izvori Cetine najvjerojatnije imaju jednim dijelom zajednički vodonosnik (JUKIĆ, 2006).

Rijeka Krčić zaštićena je i uvrštena u kategoriju značajni krajobraz 1964. godine, a prostornim planom Šibensko-kninske županije predloženo je da se značajni krajobraz "Rijeka Krčić" proglasi "posebnim geomorfološkim rezervatom" ukupne površine 5,7 km<sup>2</sup> (MARGUŠ i sur., 2011).

## **2.2. Klimatska obilježja**

Meteorološki podaci koji slijede temelje se na analiziranim klimatskim prilikama izmjerenim u razdoblju od 1961. do 1990. godine prema ZANINOVIĆU (2005).

Dolinom rijeke Krke i njezinih pritoka utjecaj maritimne klime prodire duboko u kopno. Karakteriziraju ju male dnevne i godišnje amplitude temperature i visoka vlaga. Sliv rijeke Krke veći dio godine se nalazi u cirkulacijskom području umjerenih širina i ima izražena sva četiri godišnja doba. Ljeti prevladava suptropska klima, a najvažniji je utjecaj mora i okolna orografija Dinarida (oblik terena, riječna dolina, nadmorska visina) (ZANINOVIĆ, 2005).

Utjecaj mora dolinom rijeke Krke prodire duboko u kopno i znatno utječe na klimatske prilike gornjeg toka i izvorišta. Dalje od ušća utjecaj mora slabi pa je srednja godišnja temperatura zraka u Kninu oko 13°C. Srednja temperatura zraka najhladnijeg mjeseca (siječanj) u Kninu je oko 5°C, a najtoplijeg (srpanj) u Kninu je oko 23°C. Apsolutno najviša temperatura zraka zabilježena u Kninu iznosila je 39,6°C, dok je najniža u Kninu iznosila -18,3°C ([http 2](#)).

U području sliva rijeke Krke se godišnje može očekivati nešto više od 100 vedrih i oko 90 oblačnih dana. Područje Knina izravno je obasjano Sunčevim zrakama oko 2 400 sati, te se ubraja u najsunčanije predjele Hrvatske. Godišnja količina oborina u Kninu je oko 1 078 mm, a najobilnije su u hladnijem dijelu godine, u razdoblju od listopada do veljače. Najmanje oborina ima ljeti, posebno u srpnju, kada u Kninu prosječno padne oko 46 mm oborina. Snijeg je na ovom području vrlo rijetka pojava, osobito uz more. Srednja relativna vlažnost u Kninu je 67% ([http 2](#)).

Uz dolinu rijeke Krke prevladavaju vjetrovi hladnog polugodišta: sjeveroistočnjak – bura i jugoistočnjak – jugo. Bura je izrazita na cijelom području, a jugo samo u donjem toku rijeke Krke. Ljeti, za vedra vremena, razvija se blagi danji vjetar, maestral, iz zapadnog ili jugozapadnog smjera ([http 2](#)).

### **2.3. Biološka obilježja**

Rijeka Krčić u biološkom pogledu je uvrštena u Ekološku mrežu Natura 2000 Republike Hrvatske te proglašena Područjem važnim za divlje svojte i stanišne tipove – Natura kod: HR2000917. Kao dio Ekološke mreže ciljne vrste s Dodatka II HD koje su zabilježene za to područje su *Lindenia tetraphylla* (Van der Linden, 1825) (Insecta, Odonata),

*Proterebia afra dalmata* (Godart, 1824) (Insecta, Lepidoptera), *Rhinolophus euryale* (Blasius, 1853) (Mammalia, Chiroptera), *Rhinolophus ferrumequinum* (Schreber, 1774) (Mammalia, Chiroptera). Ciljna staništa s Dodatka I HD koja su zabilježena za to područje su Špilje i jame zatvorene za javnost (NKS kod: 8310) te Sedrene barijere i vodopadi.

Šire područje Dinare, s izvorima rijeka Cetine, Krke i Krčića, od iznimne je prirodne vrijednosti te je Javna ustanova za upravljanje zaštićenim područjima i drugim zaštićenim prirodnim vrijednostima na području Šibensko-kninske županije u suradnji s Državnim zavodom za zaštitu prirode pokrenula izradu stručne podloge za proglašenje šireg područja Dinare zaštićenim područjem tj. zaštićenom prirodnom vrijednošću, sukladno Zakonu o zaštiti prirode i Prostornom planu Šibensko-kninske županije (Službeni vijesnik Šibensko-kninske županije 11/02, 10/05, 3/06, 2/08 i 5/08) (BABAČIĆ AJDUK, 2011).

#### **2.4. Opis istraživane postaje**

Istraživana postaja na rijeci Krčić smještena je u samom izvorištu (eukrenalu) rijeke uzvodno od prve mlinice i umjetno stvorenog slapa koji je nekoć imao funkciju retencije kako bi se veće količine vode usmjeravale na kolo mlinice. Na istraživanoj postaji u okviru ovog istraživanja obuhvaćeni su uzorkovanjem različiti tipovi supstrata: kameniti supstrat (mikrolital), mahovina, makrofitska vodena vegetacija i helofiti te alge kao obraštaj na kamenitom supstratu (megalitalu).





Slika 5. Prikaz sezonskih promjena količine vode na izvoru Krčić tijekom istraživnog razdoblja (foto: A Previšić, S. Gottstein)

### 3. MATERIJALI I METODE

Istraživanja su provedena na povremenom izvoru Krčić u Srednjoj Dalmaciji. Prikupljeni su triplikativni uzorci jedinki vrste *Synurella ambulans* jednom mjesečno od travnja 2011. do lipnja 2012. te s dodatnim uzorkom iz ožujka 2013. godine. Kao poduzorci uzorkovani su različiti supstrati (SI mahovina, SII valutice i SIII šljunak). Uzorci su prikupljeni kracerom veličine oka 500 µm na površini 25 x 25 cm. Izmjereni su osnovni fizikalno – kemijski čimbenici vode. U laboratoriju na binokularnoj lupi XTL-3400D je određena struktura i gustoća populacije (brojnost mužjaka, ženki, ovigernih ženki, adolescenata i juvenilnih jedinki), te okularnim mikrometrom izmjerena ukupna dužina tijela svake jedinke.

#### **3.1. Terenska istraživanja**

Prilikom uzorkovanja makrozoobentosa izmjereni su osnovni fizikalno – kemijski čimbenici vode: temperatura, pH, električna provodljivost, količina otopljenog kisika i zasićenje vode kisikom uz pomoć WTW uređaja. Oxi 330/SET sandom mjerena je koncentracija otopljenog kisika, zasićenje vode kisikom i temperatura vode. Sandom WTW pH 330 mjerena je pH vrijednost vode, a provodljivost pomoću konduktometra WTW LF 330. Titracijom 100 ml uzorka vode s 0,1 M kloridnom kiselinom uz indikator metiloranž izmjeren je alkalinitet (kasnije izražavan u mg CaCO<sub>3</sub> L<sup>-1</sup>).

Podaci za fizikalno – kemijske čimbenike prikupljeni su u razdoblju od listopada 2010. godine do travnja 2013. godine.

Uzorci makrozoobentosa su sakupljeni prema AQEM metodi uzorkovanja pomoću Surberove mreže. Okvir mreže iznosi 25 x 25 cm, a veličina oka mreže iznosi 500 µm. Uzorkovanje je započeto nizvodno i kretalo se u uzvodnom pravcu (HERING i sur., 2004). Surberova mreža postavila se u položaj za uzorkovanje i otvor mreže usmjerio se prema uzvodnom dijelu toka. Uzorak se prikupljao pomoću "kick – sampling" metode kojom se supstrat podiže s dna na dubini od 10 – 15 cm snažnim udaranjem nogu ili rotiranjem stopala u području koje odgovara širini okvira mreže (koja se nalazi nizvodno od stopala te je uzorak strujom vode otplavljen u mrežu). Pri uzorkovanju mreža se nalazila u okomitom položaju



tako da je okvir mreže pod pravim kutem u odnosu na tok vode (AQEM consortium, 2002). Uzorak je konzerviran s 96% etanolom u plastičnim bocama na kojima je prethodno naznačen lokalitet i datum uzorkovanja.

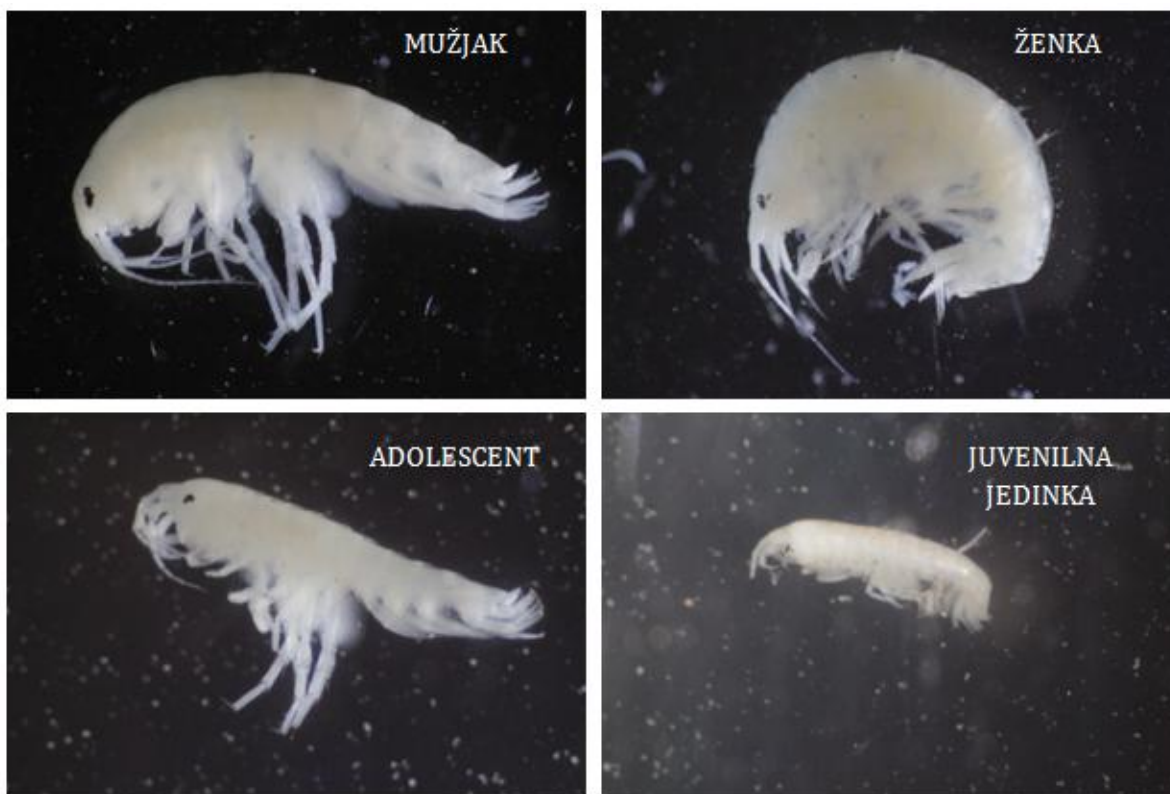
### 3.2. Laboratorijska istraživanja

Sakupljeni materijal razvrstan je u Laboratoriju za ekologiju životinja Zoologijskog zavoda Prirodoslovno-matematičkog fakulteta i pregledavan je binokularnom lupom XTL-3400D povećanja do 100x. Iz uzorka su izdvojeni makroskopski beskralješnjaci, zatim razvrstani po skupinama u epruvetice sa 75%-tnim etanolom u koje je prethodno stavljena kartica s nazivom sistematske kategorije, datumom i mjestom uzorkovanja. Za potrebe ovog rada analizirana je samo vrsta *Synurella ambulans*.

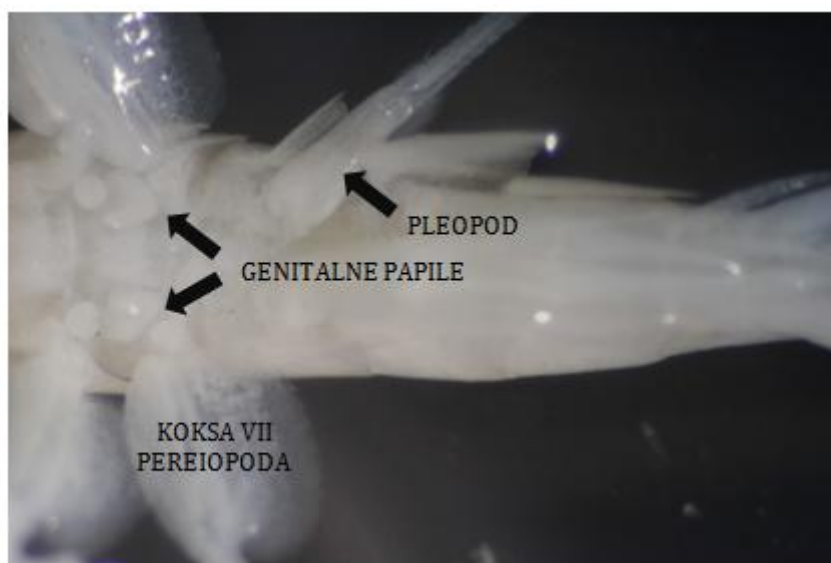
U laboratoriju na binokularnoj lupi XTL-3400D su za svaku postaju i datum uzorkovanja jedinke prebrojavane i razvrstane po spolu, reproduktivnom statusu i razvojnem stadiju (Slika 6):

- mužjaci: jedinke s razvijenim genitalnim papilama (Slika 7);
- neovigerne ženke: ženke s razvijenim oostegitima i praznim marsupijem;
- ovigerne ženke: ženke s dobro razvijenim, velikim oostegitima koje u marsupiju nose jaja;
- ženke s leglom: ženke s dobro razvijenim, velikim oostegitima koje u marsupiju nose juvenilne jedinke;
- adolescenti: jedinke kod kojih ne postoje spolna obilježja, tj. nema začetaka genitalnih papila ili oostegita;
- juvenilne jedinke: najmanje jedinke kojima nisu razvijeni u potpunosti svi tjelesni privjesci niti nemaju spolna obilježja.

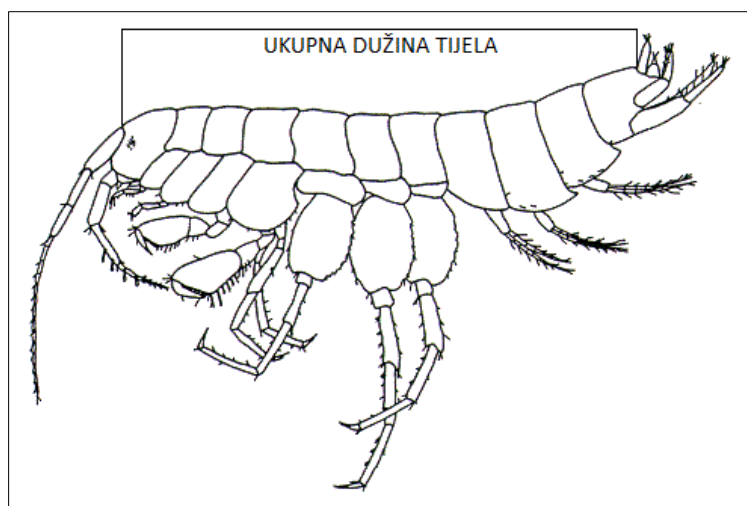
Okularnim mikrometrom izmjerena je ukupna dužina tijela svake jedinke od vrha rostruma do početka telzona (Slika 8).



Slika 6. Habitus mužjaka, ženke, adolescenta i juvenilne jedinke vrste *Synurella ambulans* s izvora Krčić (foto. S. Gottstein).



Slika 7. Izgled i položaj genitalnih papila mužjaka vrste *Synurella ambulans* s izvora Krčić (foto. S. Gottstein).



Slika 8. Ukupna dužina tijela vrste *Synurella ambulans*

### 3.3. Statistička obrada podataka

Dobiveni podatci su obrađeni u programu Microsoft Excell 2010 i Statsoft Statistica 10. Analizirana je životna i reproduktivna strategija istraživane vrste te dinamika populacija u ovisnosti o vremenskoj dinamici istjecanja vode na izvoru. Na temelju istraživanja dobio se uvid o gustoći i strukturi populacija, fekunditetu, odnosu spolova te utjecaju fizikalno-kemijskih parametara na dinamiku populacija.

Odnos spolova računao se na dva načina: (i) kao operativni odnos spolova (eng. "operational sex ratio"), odnosno odnos mužjaka i neovigernih ženki baziran na stopi mužjaka i neovigernih ženki sposobnih za reprodukciju u danom trenutku i (ii) kao ukupan broj mužjaka podijeljen sa ukupnim brojem odraslih ženki. Hi-kvadrat test sa Yeatsovom korekcijom je korišten za testiranje odstupanja zadanog odnosa spolova 1:1.

## 4. REZULTATI

### 4.1. Fizikalno-kemijski čimbenici vode na izvoru Krčić

Tijekom istraživnog razdoblja na izvoru Krčić najveće oscilacije u fizikalno-kemijskim čimbenicima zabilježene su u travnju 2012. godine. Sve zabilježene fizikalno – kemijske vrijednosti su u Tablici 2.

Najviša temperatura vode bila je 10,3°C u svibnju 2011., a najniža 8,8°C u travnju 2012. godine. Srednja vrijednost temperature iznosi 9,18°C.

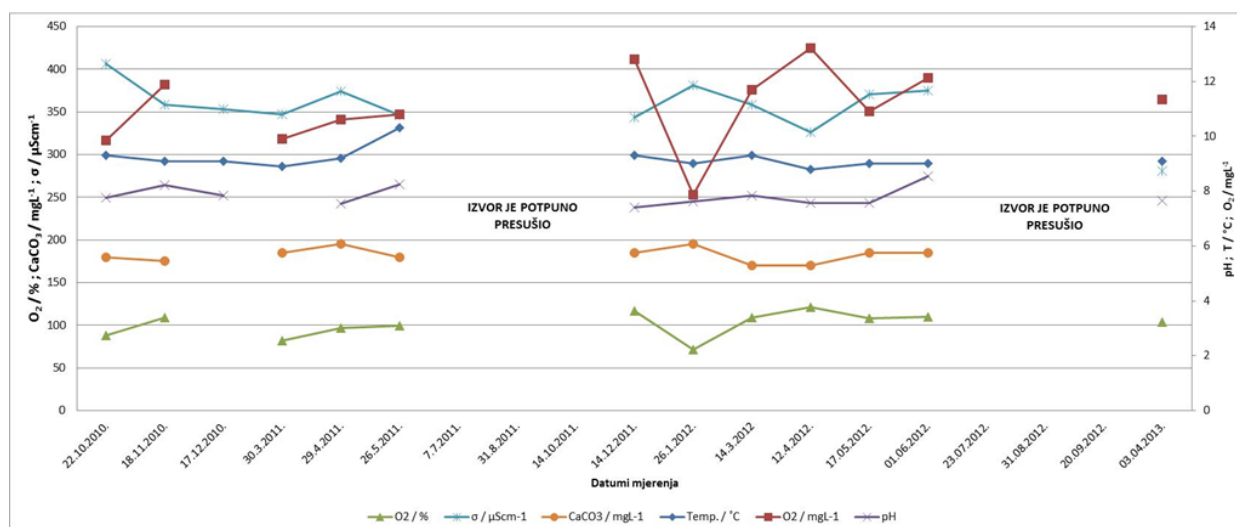
Najveća količina otopljenog kisika bila je 13,2 mgL<sup>-1</sup> O<sub>2</sub> u travnju 2012., a najmanja 7,87 mgL<sup>-1</sup> O<sub>2</sub> u siječnju 2012. godine. Srednja vrijednost iznosi 11,08 mgL<sup>-1</sup> O<sub>2</sub>.

Zasićenost vode kisikom najviša je bila 121,1 % u travnju 2012., a najniža 71,3 % u siječnju 2012. godine. Srednja vrijednost iznosi 101,3 %.

Najviša pH vrijednost vode je bila 8,54 u lipnju 2012. godine, a najniža 7,4 u prosincu 2011. godine. Srednja vrijednost pH iznosi 7,82.

Provodljivost je bila najviša 406 μScm<sup>-1</sup> listopada 2010., a najniža 281 μScm<sup>-1</sup> u travnju 2013. godine. Srednja vrijednost iznosi 355,38 μScm<sup>-1</sup>.

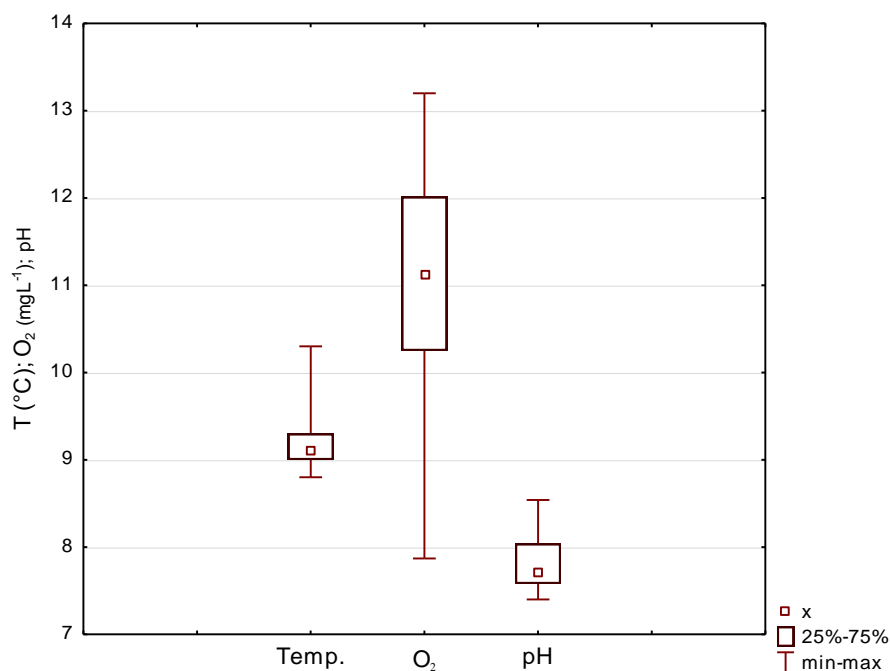
Alkalitet je bio najviši u travnju 2011. i siječnju 2012. (195 mgL<sup>-1</sup> CaCO<sub>3</sub>), a najniži u ožujku i travnju 2012. godine (170 mgL<sup>-1</sup> CaCO<sub>3</sub>). Srednja vrijednost iznosi 182,27 mgL<sup>-1</sup> CaCO<sub>3</sub> (Slika 9,10,11; Tablica 3).



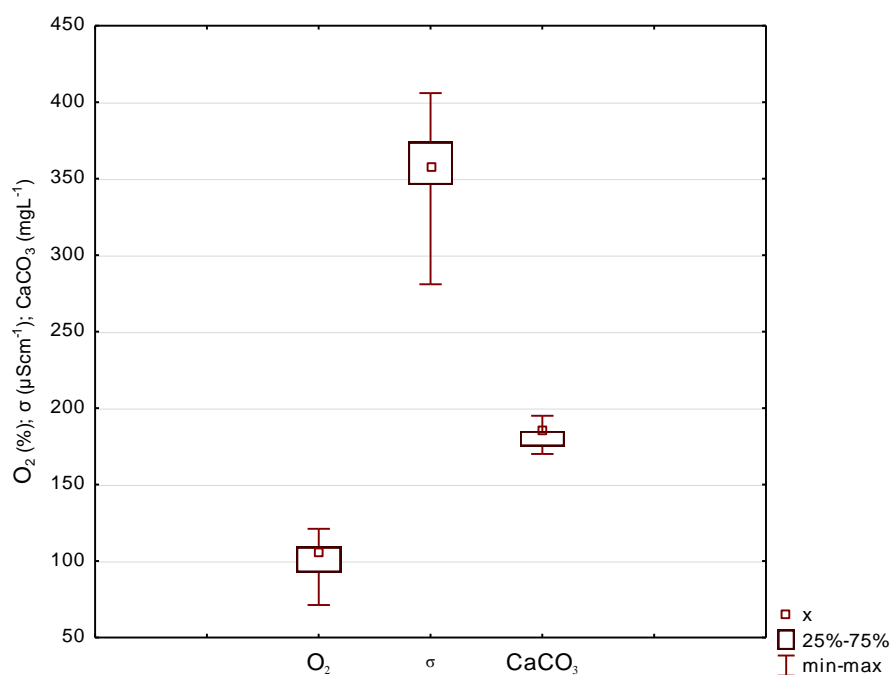
Slika 9. Vrijednosti analiziranih fizikalno-kemijskih parametara vode na izvoru Krčić tijekom istraživnog razdoblja s označenim mjesecima kada je izvor u potpunosti presušio.

Tablica 2. Vrijednosti fizikalno – kemijskih čimbenika zabilježene na izvoru Krčić (\*nije mjereno ili nije radilo ili bio zaleđen; \*\*potpuno presušio)

Datum	Temp. Zraka / °C	Temp. / °C	O <sub>2</sub> / mgL <sup>-1</sup>	O <sub>2</sub> / %	pH	σ / μScm <sup>-1</sup>	Utrošak HCl (mL)	CaCO <sub>3</sub> / mgL <sup>-1</sup>
22.10.2010.	*	9,3	9,84	88,3	7,76	406	3,6	180
18.11.2010.	9,1	9,1	11,89	109	8,23	358	3,5	175
17.12.2010.	*	9,1	*	*	7,84	353	*	*
30.03.2011.	9,3	8,9	9,9	82		347	3,7	185
29.04.2011.	*	9,2	10,6	97	7,53	374	3,9	195
26.05.2011.	*	10,3	10,8	99,6	8,24	346	3,6	180
07.07.2011.	**	**	**	**	**	**	**	**
31.08.2011.	**	**	**	**	**	**	**	**
14.10.2011.	**	**	**	**	**	**	**	**
14.12.2011.	*	9,3	12,8	117	7,4	344	3,7	185
26.01.2012.	*	9	7,87	71,3	7,62	381	3,9	195
14.03.2012.	*	9,3	11,7	109,1	7,85	358	3,4	170
12.04.2012.	*	8,8	13,2	121,1	7,58	326	3,4	170
17.05.2012.	*	9	10,9	108	7,58	371	3,7	185
01.06.2012.	*	9	12,14	109,5	8,54	375	3,7	185
23.07.2012.	**	**	**	**	**	**	**	**
31.08.2012.	**	**	**	**	**	**	**	**
20.09.2012.	**	**	**	**	**	**	**	**
03.04.2013.	*	9,1	11,33	103,7	7,65	281	*	*



Slika 10. Box-Whisker tip dijagrama s prikazom srednje (x), minimalne i maksimalne vrijednosti za temperaturu ( $T / ^\circ\text{C}$ ), otopljeni kisik ( $\text{O}_2 / \text{mgL}^{-1}$ ) i pH na izvoru Krčić tijekom istraživnog razdoblja.



Slika 11. Box-Whisker tip dijagrama s prikazom srednje (x), minimalne i maksimalne vrijednosti za zasićenost vode kisikom ( $\text{O}_2 / \%$ ), provodljivost ( $\sigma / \mu\text{S cm}^{-1}$ ) i alkalitet ( $\text{CaCO}_3 / \text{mgL}^{-1}$ ) na izvoru Krčić tijekom istraživnog razdoblja.

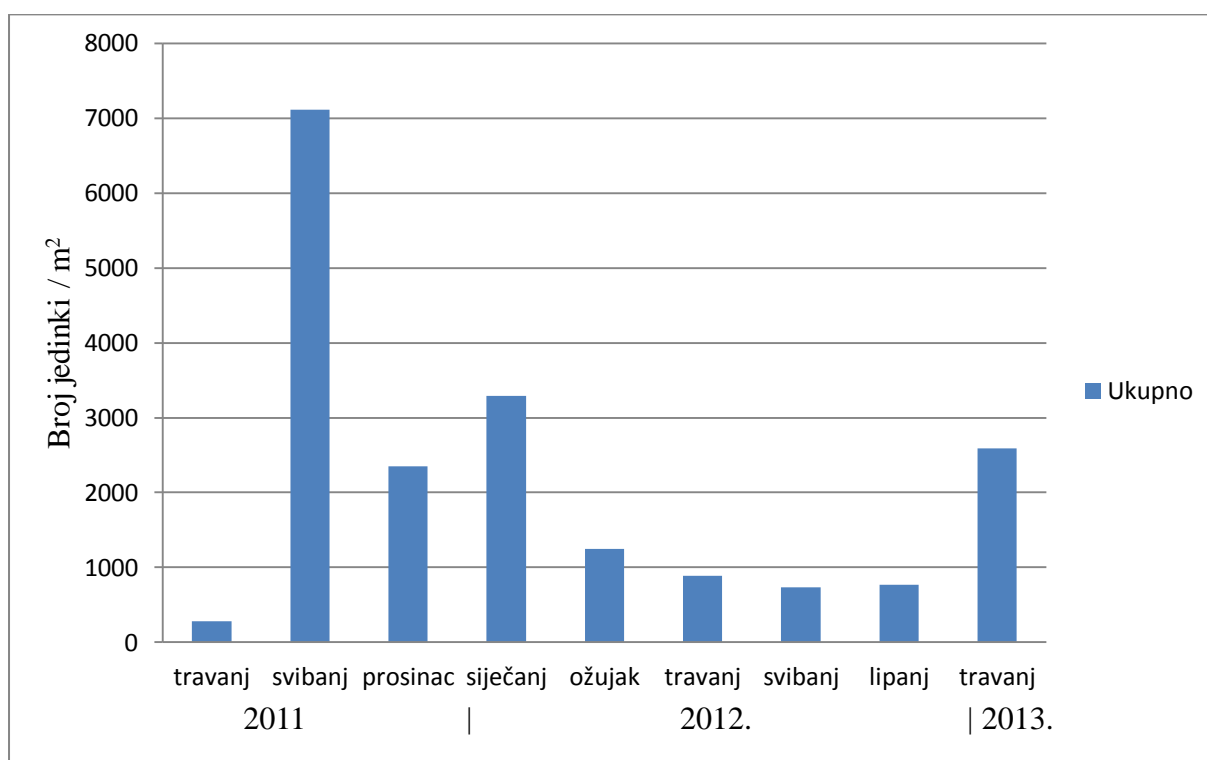
Tablica 3. Minimalne, maksimalne i srednje vrijednosti fizikalno – kemijskih čimbenika zabilježene na izvoru Krčić (min – minimum, max – maksimum; x – srednja vrijednost; SD – standardna devijacija; SE – standardna pogreška; CV – koeficijent varijacije)

	<b>min</b>	<b>max</b>	<b>x</b>	<b>SD</b>	<b>SE</b>	<b>CV</b>
<b>T / °C</b>	8,8	10,3	9,18	0,37	0,10	4,02
<b>O<sub>2</sub> / mgL<sup>-1</sup></b>	7,87	13,2	11,08	1,45	0,42	13,12
<b>O<sub>2</sub> / %</b>	71,3	121,1	101,30	14,58	4,21	14,40
<b>pH</b>	7,4	8,54	7,82	0,35	0,10	4,42
<b>σ / μScm<sup>-1</sup></b>	281	406	355,38	30,13	8,36	8,48
<b>Utrošak HCl (ml)</b>	3,4	3,9	3,65	0,17	0,05	4,65
<b>CaCO<sub>3</sub> / mgL<sup>-1</sup></b>	170	195	182,27	8,47	2,56	4,65

## 4.2. Dinamika gustoće populacija

Kroz cijelo istraživano razdoblje na izvoru Krčić ukupno je prikupljeno 3100 jedinki. Uzorkovanjem su obuhvaćeni različiti tipovi supstrata: kameniti supstrat (mikrolital), mahovina, makrofitska vodena vegetacija i helofiti te alge kao obraštaj na kamenitom supstratu (megalitalu). Različitim supstratima dodijeljene su različite oznake, stoga slijedi da SI označava mahovinu, SII makrolital (valutice), a SIII mikrolital (šljunak).

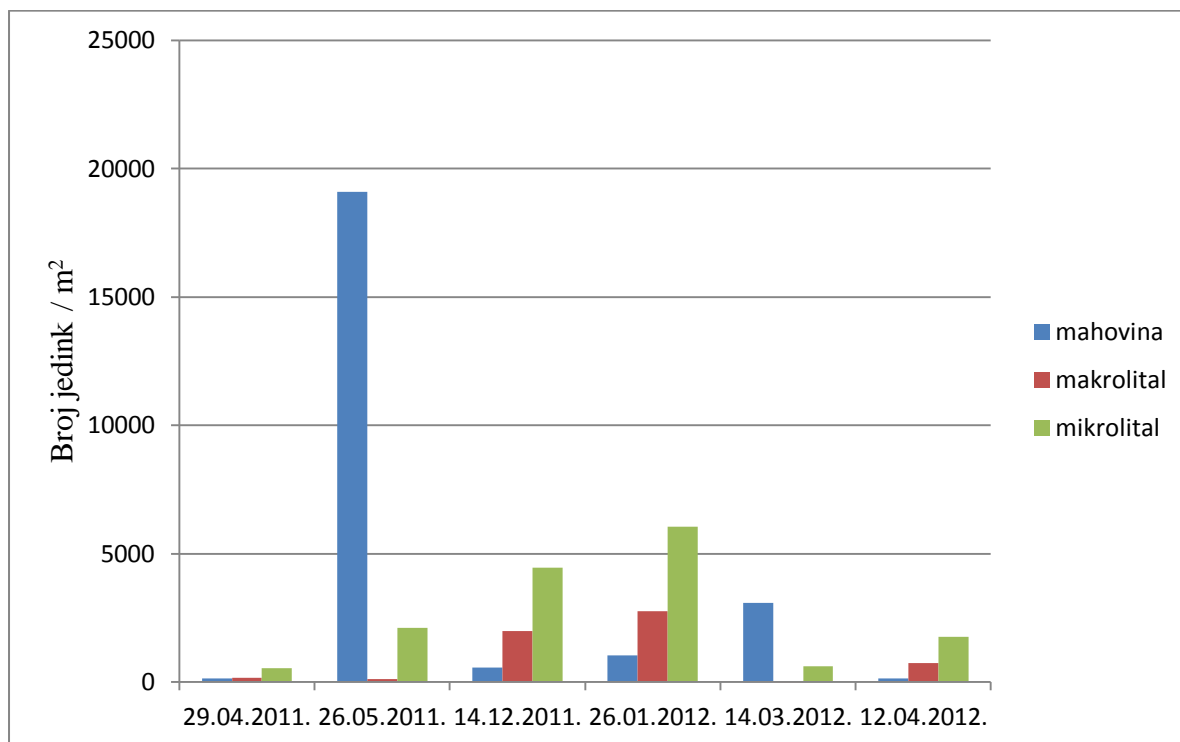
Najveća gustoća jedinki zabilježena je u svibnju 2011. godine (7109,33 jedinki/m<sup>2</sup>), a najmanja gustoća u travnju 2011. godine (282,67 jedinki/m<sup>2</sup>) (Slika 12).



Slika 12. Dinamika gustoće populacije na izvoru Krčić od travnja 2011. godine do lipnja 2012. godine uključujući i travanj 2013. godine

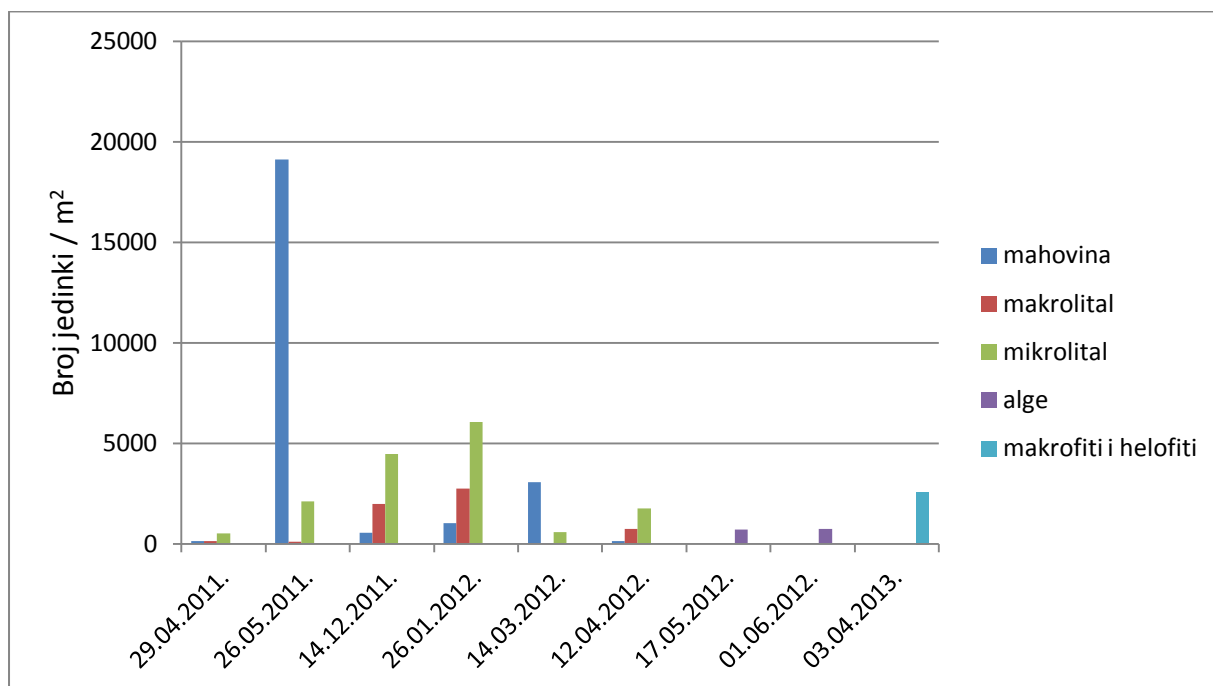


Kroz cijelo istraživano razdoblje zabilježena je najveća gustoća populacije na mikrolitalu i pozitivan rast idući od SI do SIII (najmanja gustoća među mahovinom, najveća na miktolitalu). Iznimka su svibanj 2011. godine i ožujak 2012. godine. Najveća gustoća zabilježena je u svibnju 2011. godine među mahovinom (19104 jedinki/m<sup>2</sup>), a najmanja u ožujku 2012. godine na makrolitalu sa gustoćom populacije od 48 jedinki/m<sup>2</sup> (Slika 13).



Slika 13. Dinamika gustoće populacije na izvoru Krčić od travnja 2011. do lipnja 2012. godine na različitim susprtatima.

Uzevši u obzir datume i postaje na kojima nije bilo triplikativnih uzoraka (svibanj i lipanj 2012. godine te travanj 2013. godine) i koji su uzimani na drugoj vrsti supstrata (alge u svibnju i lipnju 2012. godine, te makrofiti i helofiti u travnju 2013. godine), situacija se ne mijenja za najveću i najmanju gustoću populacije (Slika 14).



Slika 14. Dinamika gustoće populacije na izvoru Krčić od travnja 2011. do lipnja 2012. godine na različitim supstratima uključujući i travanj 2013. godine kao dodatni uzorak.

#### 4.3. Sezonska varijabilnost ontogenetske i spolne strukture populacija

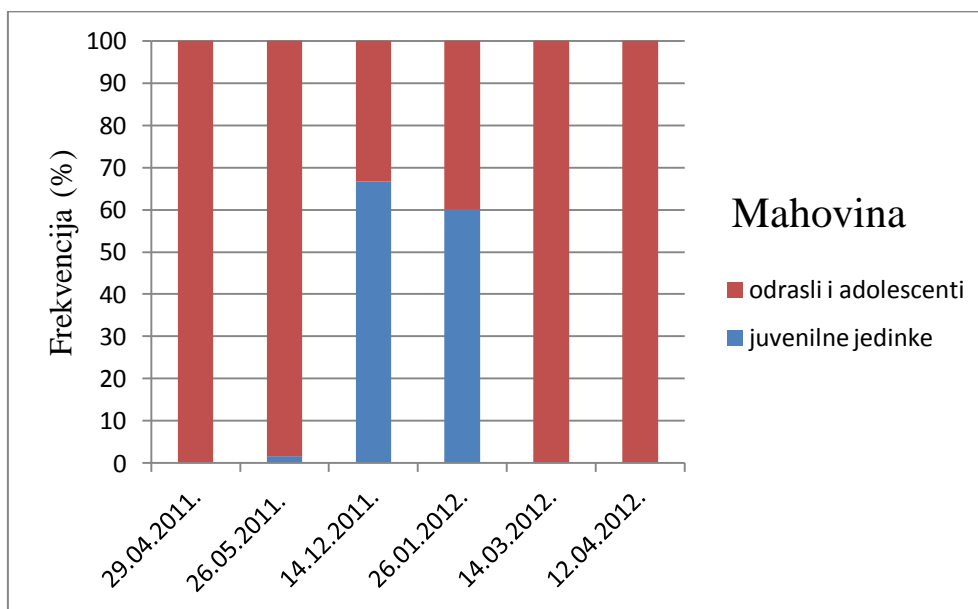
Značajan postotak juvenilnih jedinki među mahovinom (SI) se pojavljuje u prosincu 2011. godine sa 66,67% i siječnju 2012. godine sa 60,00%, te u svibnju 2011. godine sa 1,68%. Jedino u prosincu 2011. i siječnju 2012. godine brojnost juvenilnih jedinki dominira nad ostalim jedinkama (Slika 15).

Na makrolitalu (SII) juvenilne jedinke pojavljuju se u prosincu 2011. (4,00%), siječnju 2012. (14,45%) i travnju 2012. godine (2,13%) (Slika 16).

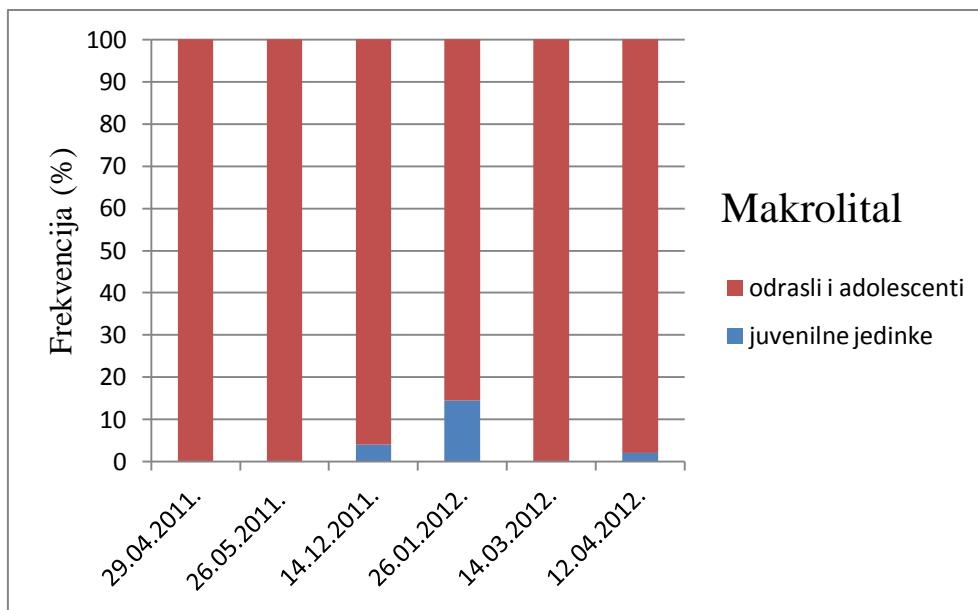
Na mikrolitalu (SIII) juvenilne jedinke pojavljuju se u svibnju 2011. (0,75%), prosincu 2011. (10,39%) i siječnju 2012. godine (22,69%) (Slika 17).

Na sve tri vrste supstrata juvenilne jedinke pojavljuju se jedino u prosincu 2011. i siječnju 2012. godine.

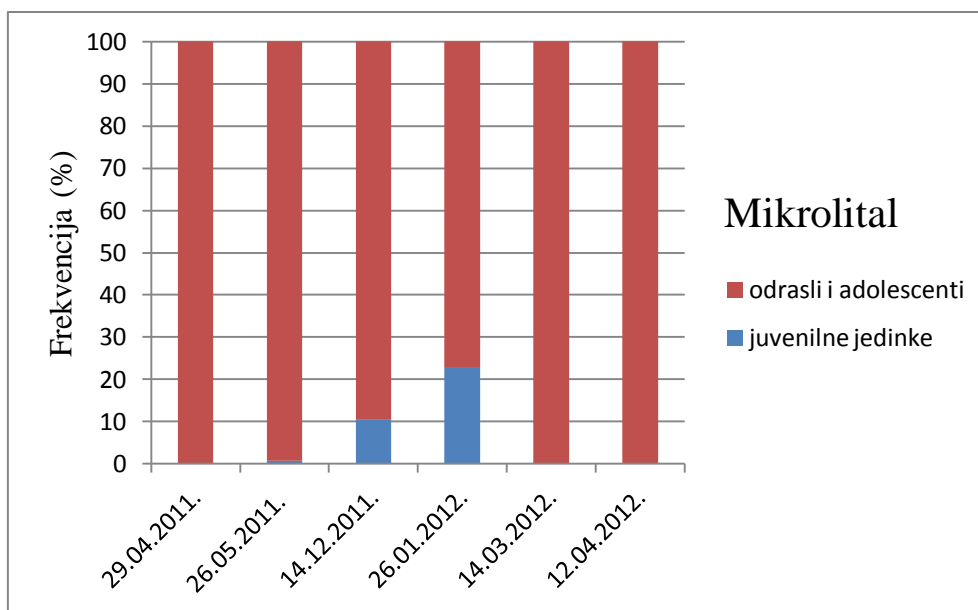
U vremenskom periodu kada nisu uzimani triplikativni uzorci (Slika 18), te su uzimani na drugoj vrsti supstrata juvenilne jedinke se pojavljuju u svibnju 2012. godine sa 6,52% te u travnju 2013. godine sa 0,62%,



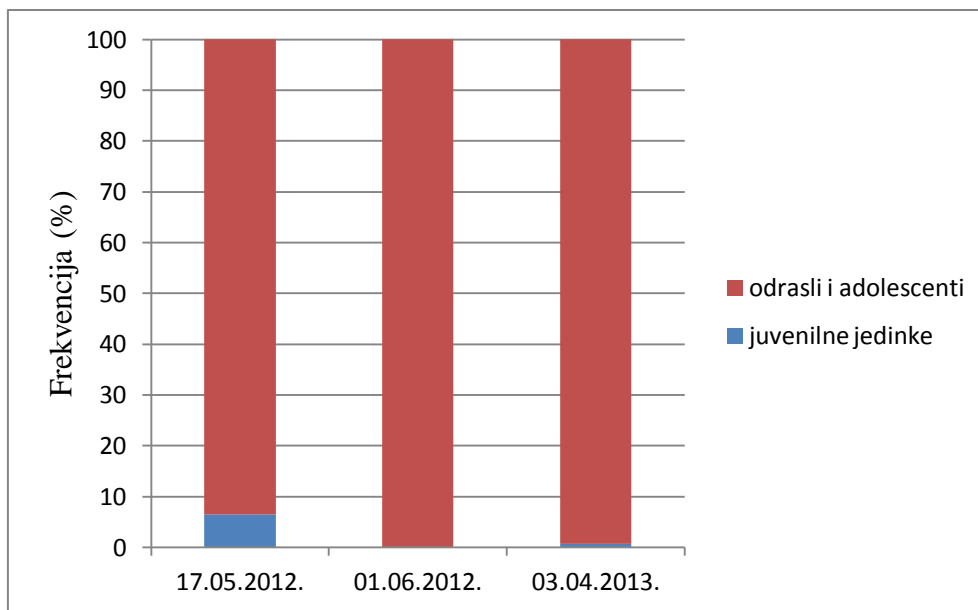
Slika 15. Sezonska varijabilnost ontogenetske strukture populacija (juvenilne jedinke i ostale jedinke) na izvoru Krčić među mahovinom od travnja 2011. do travnja 2012. godine



Slika 16. Sezonska varijabilnost ontogenetske strukture populacija (juvenilne jedinke i ostale jedinke) na izvoru Krčić na makrolitalu od travnja 2011. do travnja 2012. godine

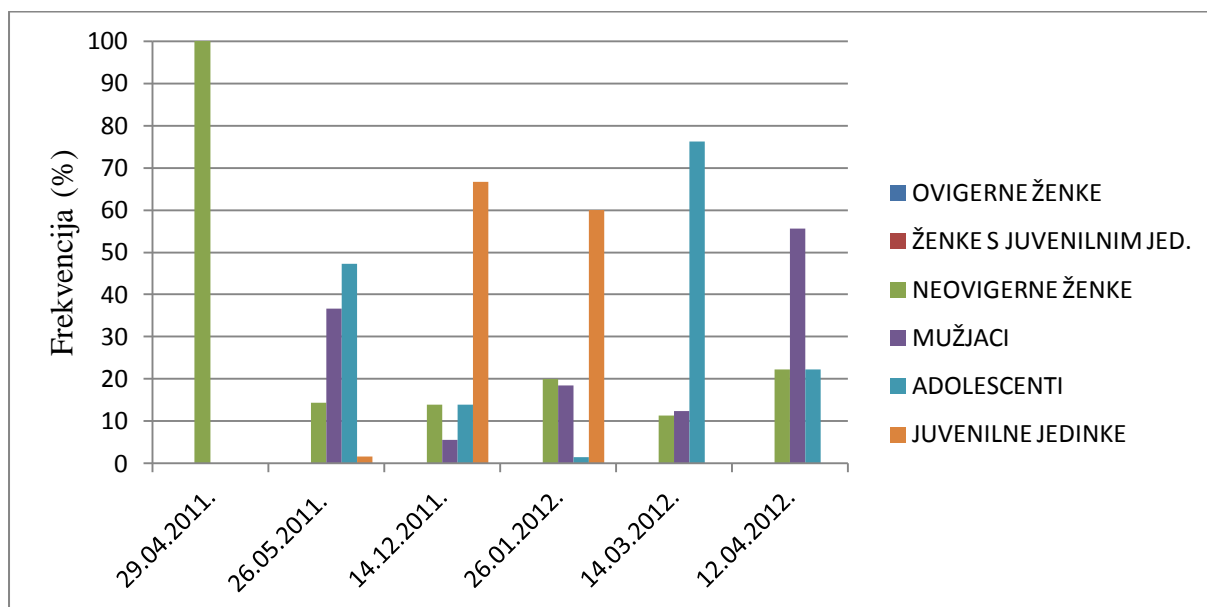


Slika 17. Sezonska varijabilnost ontogenetske strukture populacija (juvenilne jedinke i ostale jedinke) na izvoru Krčićna mikrolitalu od travnja 2011. do travnja 2012. godine



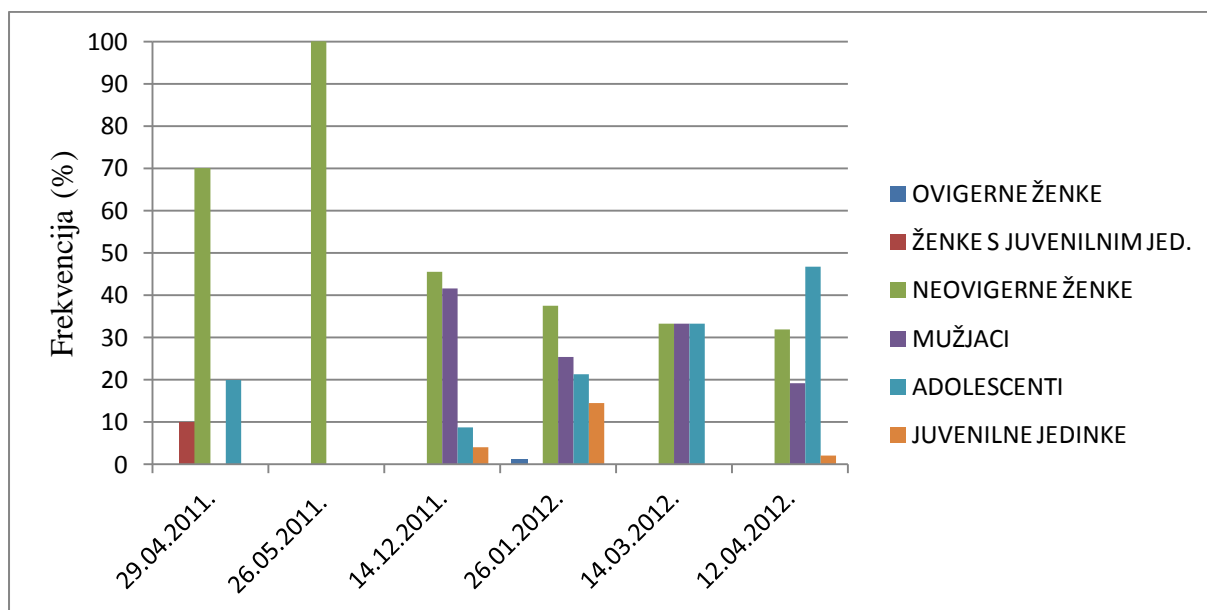
Slika 18. Sezonska varijabilnost ontogenetske strukture populacija (juvenilne jedinice i ostale jedinice) u svibnju i lipnju 2012. te travnju 2013. godine na izvoru Krčić

Kroz istraživano razdoblje među mahovinom pojavljuju se sve ontogenetske i spolne skupine u nekom periodu (Slika 19). U travnju 2011. pojavnost neovigernih ženki je 100%-tna. U svibnju 2011. najznačajnija je pojavnost adolescenata sa 47,24%, a pojavljuju se i ovigerne ženke (0,08%). U prosincu 2011. dominiraju juvenilne jedinke sa 66,67%, najmanje ima mužjaka sa 5,56%. U siječnju 2012. također dominiraju juvenilne jedinke sa 60,00%, a najmanje ima adolescenata (1,54%). U ožujku 2012. situacija se bitno mijenja, potpuno nestaju juvenilne jedinke, a dominiraju adolescenti sa 76,17%, najmanje ima neovigernih ženki (11,40%). U travnju 2012. godine dominiraju mužjaci (55,56%), a neovigernih ženki i adolescenata ima jednako (22,22%).



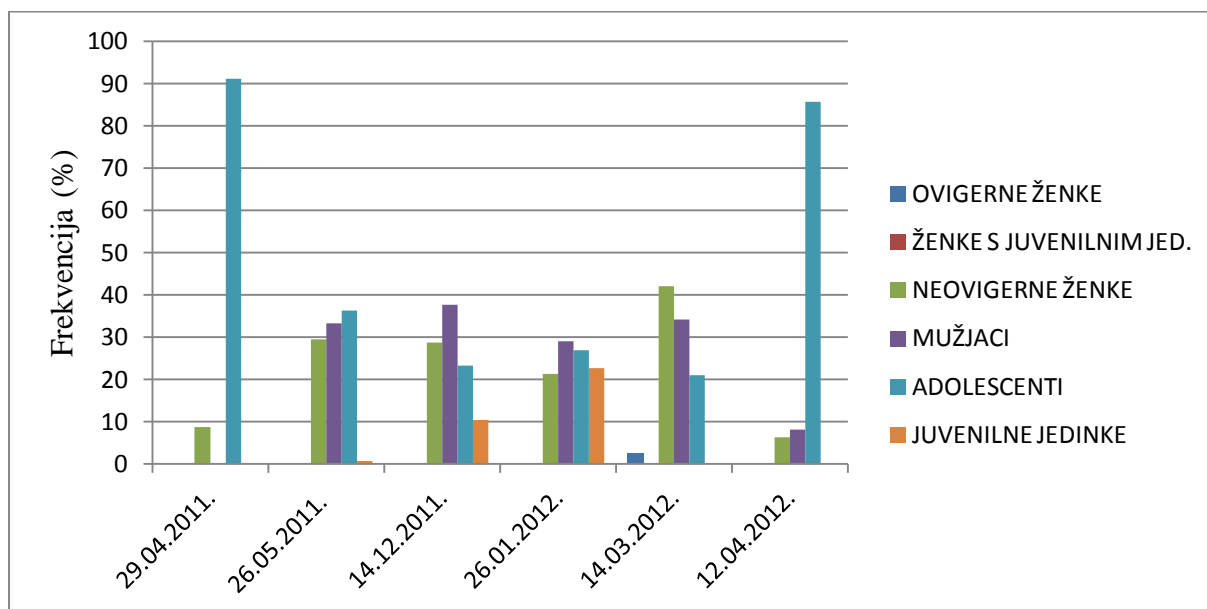
Slika 19. Sezonska varijabilnost ontogenetske i spolne strukture populacija na izvoru Krčić od travnja 2011. do travnja 2012.godine među mahovinom (SI)

Na makrolitalu situacija je bitno drugačija (Slika 20). U travnju 2011. pojavljuju se adolescenti (20,00%), dominiraju neovigerne ženke (70,00%), a pojavljuju se i ženke sa juvenilnim jedinkama (10,00%). U svibnju 2011. pojavnos neovigernih ženki je 100%-tna. U prosincu 2011. dominiraju neovigerne ženke (45,60%), a najmanje ima juvenilnih jedinki(4,00%). U siječnju 2012. ponovno se pojavljuju ovigerne ženke (1,16%), a dominiraju neovigerne (37,57%). U ožujku 2012. jednako je (33,33%) i mužjaka i neovigernih ženki i adolescenata. U travnju 2012. dominiraju adolescenti (46,81%), a najmanje ima juvenilnih jedinki (2,13%). Na makrolitalu uglavnom prevladavaju neovigerne ženke, osim u ožujku i travnju 2012. godine.



Slika 20. Sezonska varijabilnost ontogenetske i spolne strukture populacija na izvoru Krčić od travnja 2011. do travnja 2012.godine na makrolitalu (SII)

Na mikrolitalu se vidi veća pojavnost adolescenata (Slika 21). U travnju 2011. dominiraju (91,18%), a uz njih se samo pojavljuju neovigerne ženke (8,82%). U svibnju 2011. opet dominiraju adolescenti (36,36%), a pojavljuju se i ženke, neovigerne (29,54%) i mužjaci (33,33%). Juvenilnih jedinki ima najmanje, 0,76%. U prosincu 2011. dominiraju mužjaci (37,63%), a najmanje ima juvenilnih jedinki (10,39%). U siječnju 2012. opet dominiraju mužjaci (29,02%), a najmanje ima neovigernih ženki (21,37%). Pojavljuju se i juvenilne jedinke u značajnijem broju (22,69%). U ožujku 2012. dominiraju neovigerne ženke (42,11%), a pojavljuju se i ovigerne (2,63%). U travnju 2012. godine dominiraju adolescenti (85,59%), a najmanje ima neovigernih ženki (6,31%).



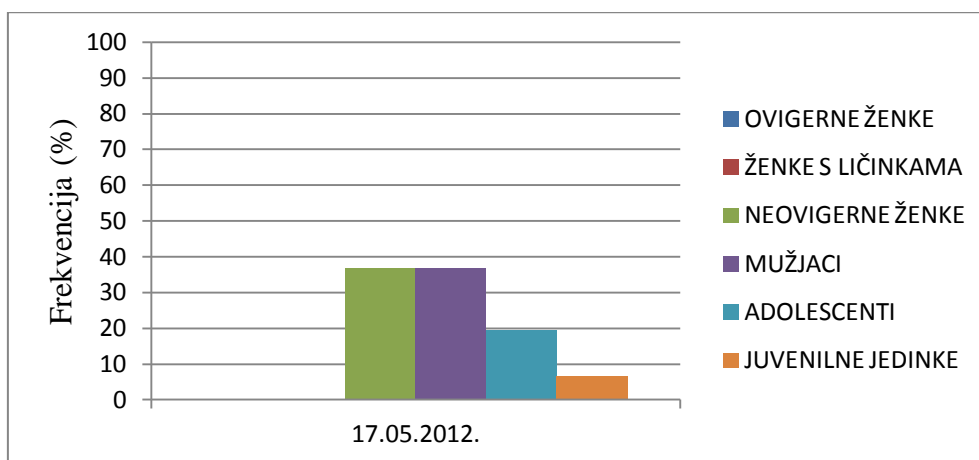
Slika 21. Sezonska varijabilnost ontogenetske i spolne strukture populacija na izvoru Krčić od travnja 2011. do travnja 2012.godine na mikrolitalu (SIII)



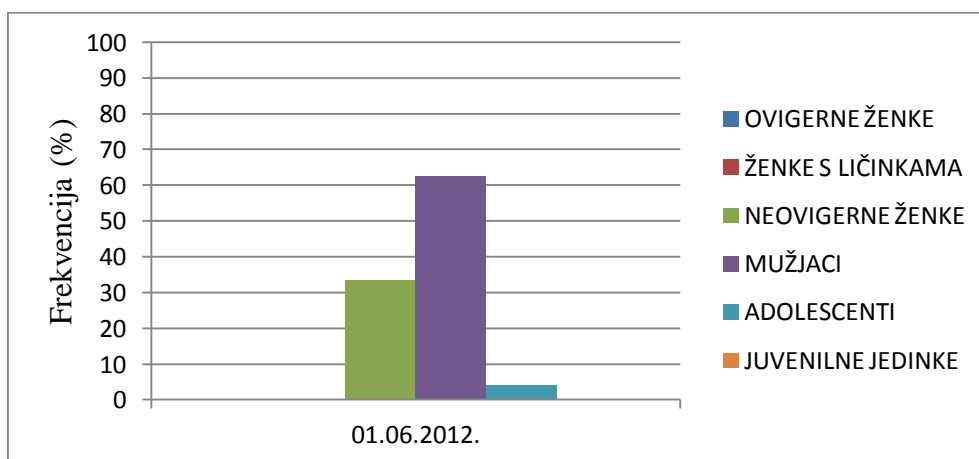
U svibnju 2012. (Slika 22) jednaka je pojava mužjaka i neovigernih ženki (36,96%) i oni ujedno prevladavaju. Najmanje je juvenilnih jedinki (6,52%).

U lipnju 2012 (Slika 23) najviše je mužjaka (62,50%), a najmanje adolescenata (4,17%). Juvenilne jedinke se ne pojavljuju.

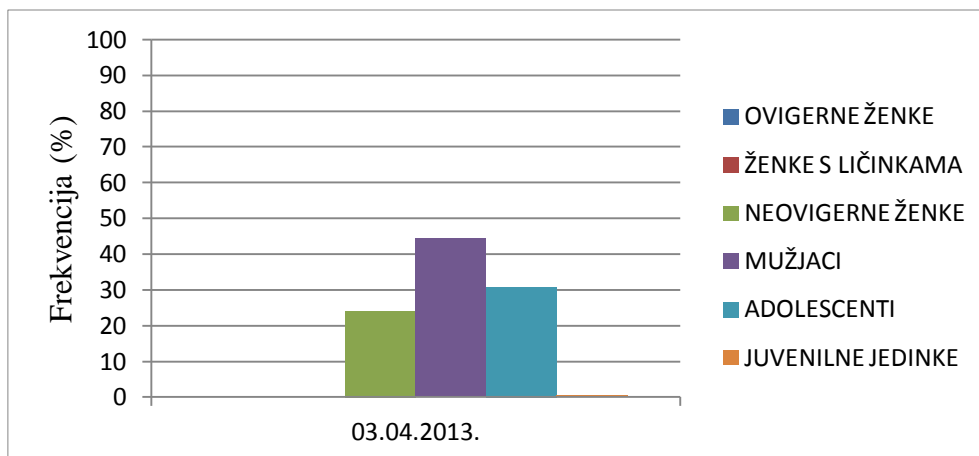
U travnju 2013. godine (Slika 24) prevladavaju mužjaci (44,44%), a najmanje ima juvenilnih jedinki (0,62%).



Slika 22. Sezonska varijabilnost ontogenetske i spolne strukture populacija u svibnju 2012. godine na izvoru Krčić



Slika 23. Sezonska varijabilnost ontogenetske i spolne strukture populacija u lipnju 2012. godine na izvoru Krčić

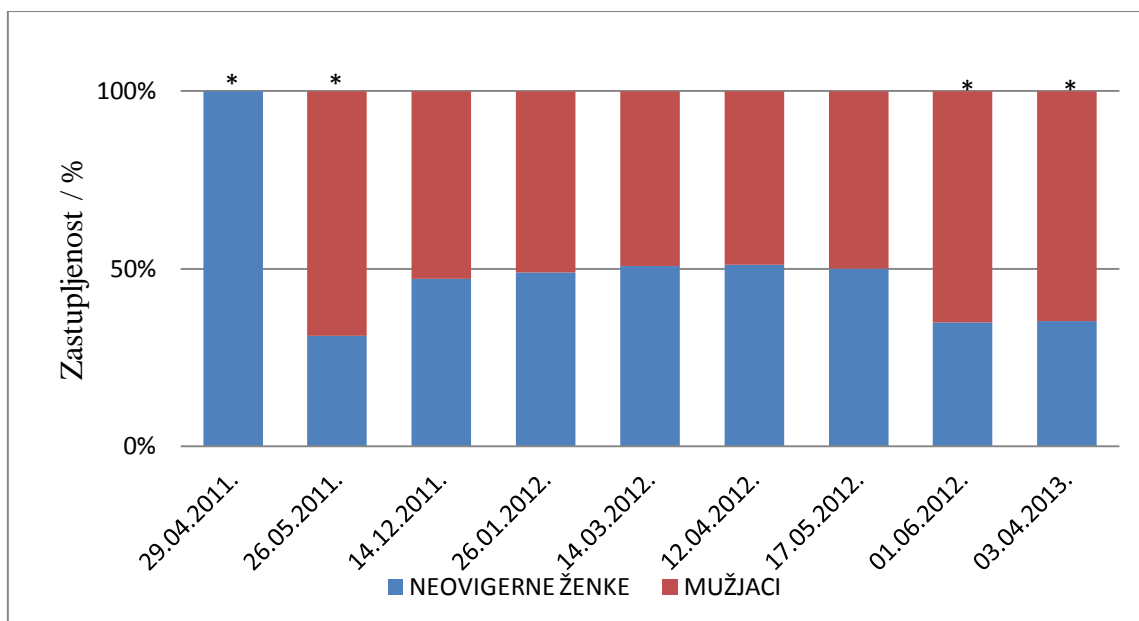


Slika 24. Sezonska varijabilnost ontogenetske i spolne strukture populacija u travnju 2013. godine na izvoru Krčić

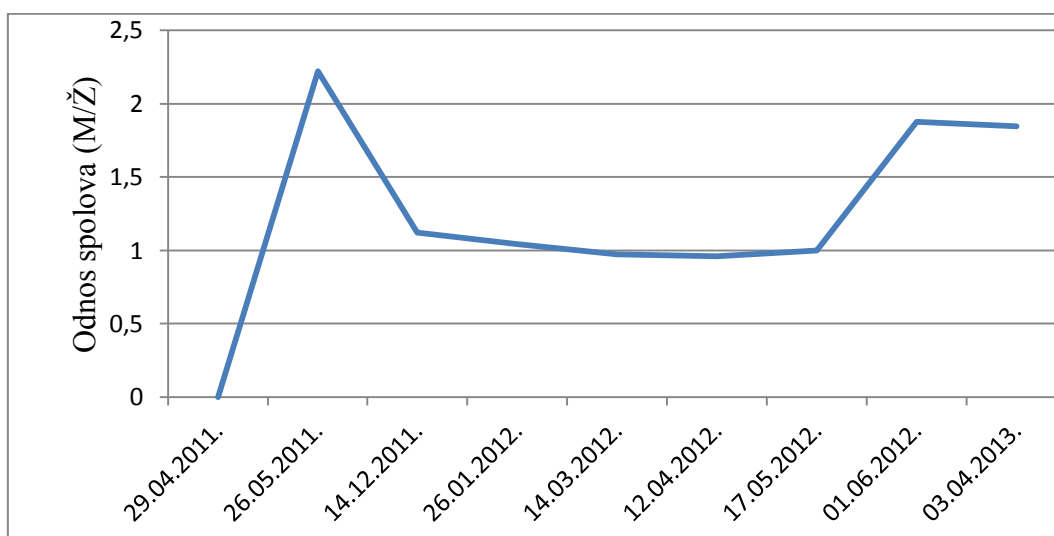
#### 4.4. Odnos spolova i fekunditet

Odnos spolova temeljen na neovigernim ženama odstupa od pretpostavljenog odnosa 1:1 ( $\chi^2$ -test,  $p < 0.05$ ) u travnju i svibnju 2011. godine, lipnju 2012. godine i travnju 2013. godine (Slika 25).

Srednje vrijednosti odnosa spolova (mužjaci/ženke) znatno osciliraju u travnju i svibnju 2011. godine te u lipnju 2012. i travnju 2013. godine. U ostalom razdoblju su ujednačene (Slika 26).



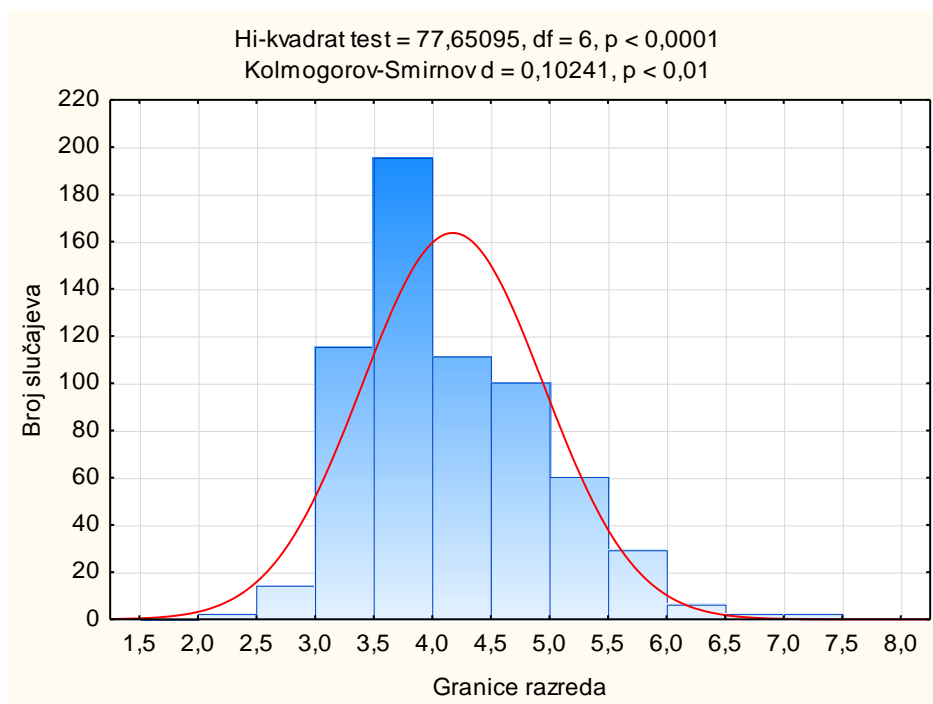
Slika 25. Operativni odnos spolova - stvarne vrijednosti (\* - statistički značajne razlike u odnosu spolova).



Slika 26. Operativni odnos spolova (M/Ž)

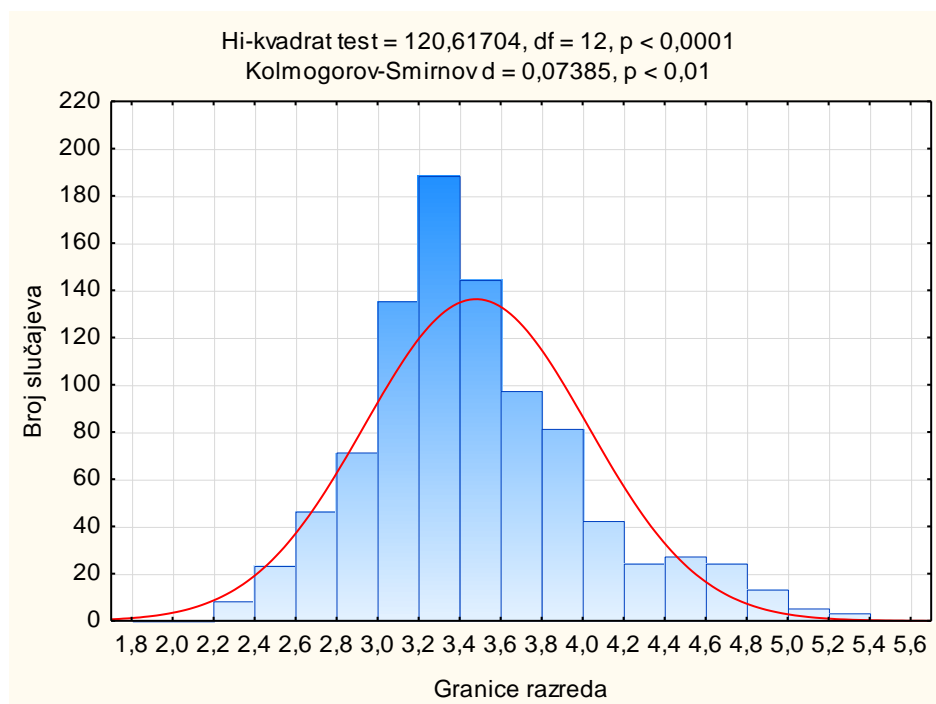
#### 4.5. Ontogenetske i spolne razlike ukupne dužine tijela

Ženke imaju normalnu distribuciju vrijednosti. Najučestalije vrijednosti ukupne dužine ženki su u granicama razreda od 3,5 do 4,0 mm. Najmanji je broj jedinki s ukupnom dužinom tijela koja pripada krajnjim granicama razreda dužine, s minimalnom vrijednosti od 2,0 mm i maksimalnom od 7,5 mm (Slika 27).



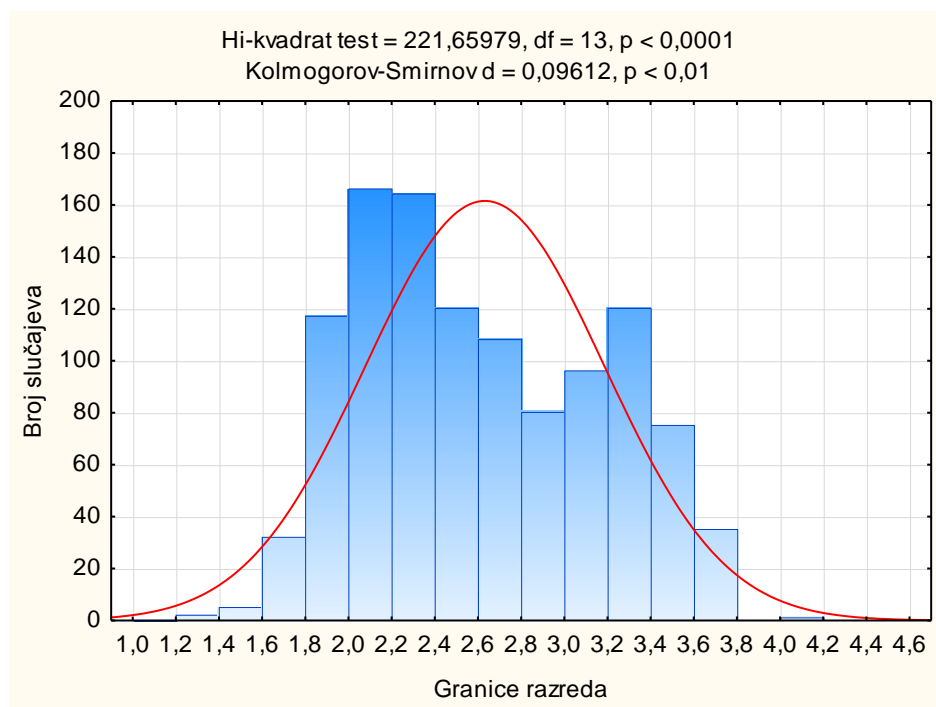
Slika 27. Distribucija ukupne dužine tijela ženke (mm) vrste *Synurella ambulans* s prikazom testova normalnosti distribucije: Hi-kvadrat i Kolmogorov-Smirnov.

Mužjaci imaju normalnu distribuciju vrijednosti. Najučestalije vrijednosti ukupne dužine mužjaka su u granicama razreda od 3,2 do 3,4 mm. Najmanji je broj jedinki s ukupnom dužinom tijela koja pripada krajnjim granicama razreda dužine, s minimalnom vrijednosti od 2,2 mm i maksimalnom od 5,4 mm (Slika 28).



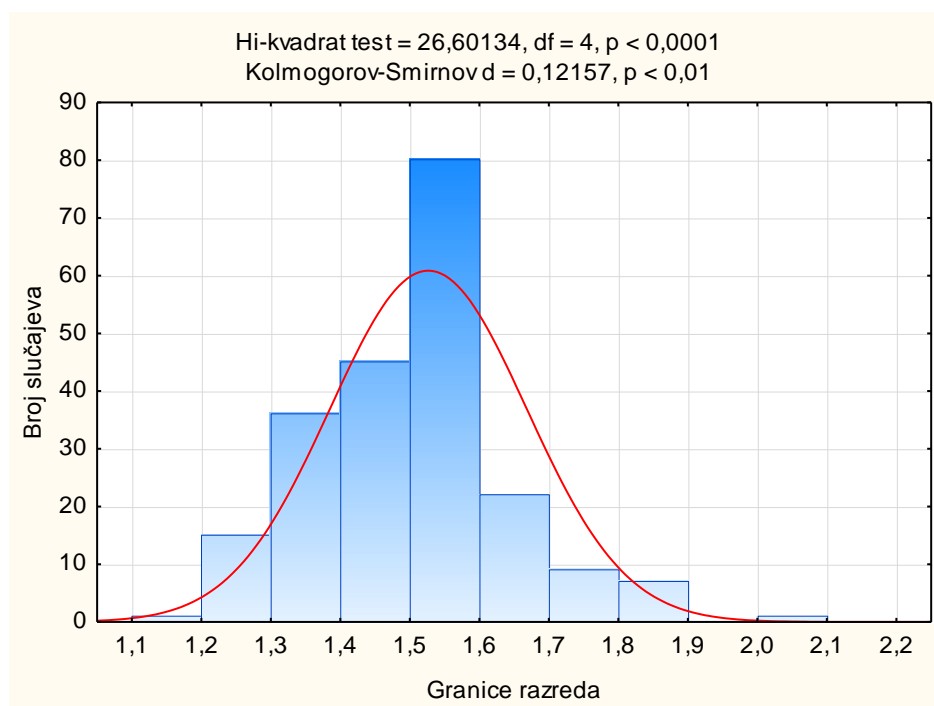
Slika 28. Distribucija ukupne dužine tijela mužjaka (mm) vrste *Synurella ambulans* s prikazom testova normalnosti distribucije: Hi-kvadrat i Kolmogorov-Smirnov.

Ukupna dužina tijela adolescenata ima bimodalnu distribuciju vrijednosti tijekom istraživanih razdoblja (Slika 29).



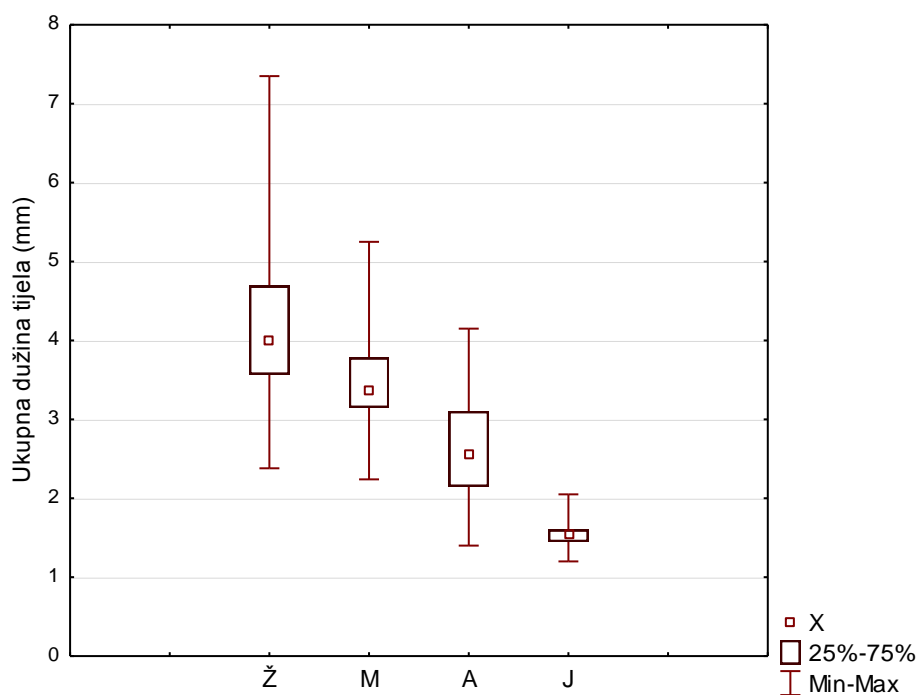
Slika 29. Distribucija ukupne dužine tijela adolescenata (mm) vrste *Synurella ambulans* s prikazom testova normalnosti distribucije: Hi-kvadrat i Kolmogorov-Smirnov.

Juvenilne jedinke imaju normalnu distribuciju vrijednosti. Najučestalije vrijednosti ukupne dužine juvenilnih jedinki su u granicama razreda od 1,5 do 1,6 mm. Najmanji je broj jedinki s ukupnom dužinom tijela koja pripada krajnjim granicama razreda dužine, s minimalnom vrijednosti od 1,1 mm i maksimalnom od 2,1 mm (Slika 30).



Slika 30. Distribucija ukupne dužine tijela juvenilnih jedinki (mm) vrste *Synurella ambulans* s prikazom testova normalnosti distribucije: Hi-kvadrat i Kolmogorov-Smirnov.

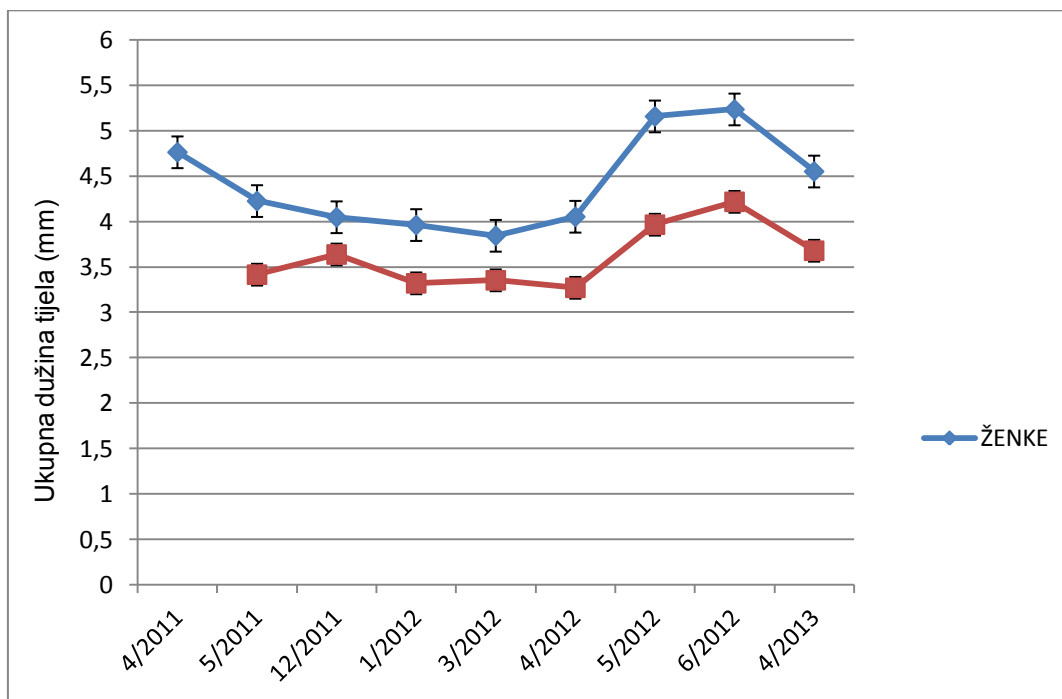
Maksimalna dužina ženki je 7.35 mm, minimalna je 2.38 mm, a srednja vrijednost dužine je 4.18 mm. Maksimalna dužina tijela mužjaka je 5.25 mm, minimalna je 2.24 mm, a srednja vrijednost dužine je 3.48 mm. Kod adolescenata maksimalna dužina je 4.15 mm, minimalna 1.40 mm, a srednja vrijednost dužine je 2.63 mm. Najveća dužina juvenilnih jedinki je 2.05 mm, minimalna je 1.2 mm, a srednja vrijednost dužine je 1.53 mm (Slika 31).



Slika 31. Box-Whisker tip dijagrama s prikazom srednje (X), minimalne i maksimalne vrijednosti ukupne dužine tijela vrste *Synurella ambulans* s udjelom populacije (25-75%) za pojedine ontogenetske kategorije: ženke (Ž), mužjake (M), adolescente (A) i juvebilne jedinke (J).



Tijekom analiziranog razdoblja utvrđen je istovjetan trend učestalosti ukupne dužine tijela kod mužjaka i ženki (Slika 32). Tijekom svibnja i lipnja 2012. god. utvrđene su veće prosječne dužine tijela mužjaka i ženki.



Slika 32. Srednja vrijednost ukupne dužine tijela ( $\pm 1$  standardna pogreška) ženki i mužjaka vrste *Synurella ambulans* na izvoru Krčić tijekom istraživnog razdoblja od travnja 2011. god. do travnja 2013. god.

## 5. RASPRAVA

### **5.1. Fizikalno-kemijski čimbenici vode na izvoru Krčić**

Za vrstu *Synurella ambulans* utvrđeno je da nastanjuje izvorske vode koje po vrijednostima fizikalno-kemijskih parametara upućuju na vode nastale topljenjem snijega, s niskim vrijednostima otopljenog kisika, niskim stupnjem mineralizacije tj. niskom vrijednošću tvrdoće vode (GIGINYAK i MOROZ 2000 cit. iz SIDOROV i PALATOV, 2012).

KONOPACKA i BLAZEWICZ-PASZKOWYCZ (2000) tvrde da su za vrstu *S. ambulans* tipična staništa plitka i zamočvarena jezerca sa niskom koncentracijom kisika, u kojima je mulj pomiješan sa velikim količinama vegetacije koja trune.

Na izvoru Krčić su vrijednosti otopljenog kisika u vodi iznimno visoke za izvorišna područja. Srednja vrijednost zasićenja kisikom je 101,3% , a srednja vrijednost količine otopljenog kisika u vodi je 11,08 mg/L O<sub>2</sub>. Ti podaci govore da vrsta *S. ambulans* nastanjuje i staništa bogata kisikom.

Vrijednosti otopljenog CaCO<sub>3</sub> na izvoru Krčić su vrlo niske, što je u suglasnosti s teorijom da ova vrsta nastanjuje vode s niskim stupnjem mineralizacije (GIGINYAK i MOROZ 2000 cit. iz SIDOROV i PALATOV, 2012), odnosno vode u kojima je dominantna prisutnost oborinske vode ili vode nastale topljenjem snijega, što je hidrološki teško dokazati s obzirom da dosadašnja istraživanja hidrološke povezanosti i podrijetla vode na izvoru Krčić ukazuju da je podrijetlo samo jednim dijelom s područja Uništa (JUKIĆ, 2006).

Temperatura vode na izvorišnom području Krčića bila je relativno ujednačena i vrijednosti pokazuju veoma male oscilacije. Temperatura je važan regulator metabolizma i rasta beskralješnjaka u vodama (THORP i CHOVIC, 2001). Izvor Krčić presušuje svakog ljeta i takvo presušivanje se naziva "sezonskim presušivanjem" (FEGNOLIO i sur., 2007). Temperatura izvora odgovara srednjoj godišnjoj temperaturi zraka područja na kojem se izvor nalazi (GLAZIER, 2009a). Takvi izvori tradicionalno nazivaju se hladnim izvorima, no trebalo bi taj naziv koristiti za izvore koji su hladniji od srednje godišnje temperature zraka okolnog područja (GLAZIER, 2009a). Izvor Krčić pripada tipu hladnog izvora jer je srednja godišnja temperatura područja oko Knina oko 13°C, a srednja temperatura izvora oko 9°C. SIDOROV i PALATOV (2012) naglašavaju da vrsta nastanjuje vode kojima je temperatura između 2 i 16°C, što se poklapa sa izvorom Krčić kojemu se temperatura vode kreće između 8,8 i 10,3°C.

Koncentracija otopljenog kisika kreće se u skladu s temperaturom vode, a s nižom temperaturom vode raste i koncentracija otopljenog kisika. Vrijednosti ne pokazuju veće oscilacije. Budući da se radi o reokrenom tipu izvorišta, tok vode je turbulentniji te se voda prozračuje i obogaćuje kisikom iz zraka. Zasićenost kisikom je visoka i vrijednosti ne pokazuju pojačanu potrošnju kisika. U siječnju 2012. godine bila je najveća gustoća populacije (gledajući period aktiviranja izvora do presušivanja) te ta pojava prati najmanju zasićenost kisikom u istom razdoblju.

Vrijednosti pH su karakteristične za krške tekućice. Voda je bazičnog karaktera ( $\text{pH} > 7$ ) jer se izvor nalazi na karbonatnoj podlozi. Vrijednosti pokazuju minimalne oscilacije. Vrsta *S. ambulans* nastanjuje područja sa pH vrijednostima između 5 i 8 (GIGINYAK i MOROZ 2000 cit. iz SIDOROV i PALATOV, 2012).

Vrijednosti fizikalno – kemijskih čimbenika nisu dominantan čimbenik za gustoću zajednice, već stalnost protoka vode, koji je važniji čimbenik od strukture staništa i sastava supstrata (SMITH i sur., 2003), na što upućuju i rezultati utvrđeni na izvoru Krčić.

ARBAČIAUSKAS (2008) navodi da vrsta nema mogućnost povlačenja iz staništa koji presušuje. Predlaže teoriju da se nezrele jedinke roda *Crangonyx* povlače u vlažni supstrat ili dijele skrovišta s riječnim rakovima kada vodotok presuši (WILLIAMS i HYNES 1976, 1977 cit. iz ARBAČIAUSKAS, 2008). Također naglašava kako vrsta *S. ambulans* sigurno ima neki tip dijapauze u životnom ciklusu kako bi preživjela sušno razdoblje (ARBAČIAUSKAS, 2008). Iz rezultata se vidi da dijapauza nije potrebna jer se jedinke povlače u podzemlje i tamo nastavljaju životni ciklus. No za vrste ovog roda, kao što je vrsta *Synurella coeca*, poznati su nalazi i u podzemnim vodama hiporeičke zone jednog brdskog potoka na području Rumunjske (ORHIDAN, 1959), što također potvrđuje da ovaj rod na području Europe ima visok stupanj adaptacije na podzemne uvjete staništa.

## 5.2. Dinamika gustoće populacija

U alkalnim izvorima i potocima bez riba kao predatora, rakušci mogu dostići gustoću populacije preko 10000 jedinki/m<sup>2</sup> (GLAZIER, 2009b). Najveća zabilježena gustoća na izvoru Krčić je 19104 jedinki/m<sup>2</sup> u svibnju 2011. godine među mahovinom.

Od prosinca 2011. kada se izvor ponovno aktivirao pa sve do srpnja 2012. kada je u potpunosti presušio gustoća populacije opada. Veća je gustoća u siječnju 2012. nego mjesec dana prije jer se izvor tek aktivirao i nisu sve jedinke izašle na površinu iz podzemlja. Bližeći se razdoblju presušivanja, gustoća populacije opada jer se jedinke najvjerojatnije počinju povlačiti u podzemne vode premda nema značajnijih promjena u fizikalno-kemijskim parametrima, osim što se razina vode na izvoru počinje snižavati.

Kroz istraživano razdoblje najveća gustoća jedinki je na mikrolitalu, a najmanja među mahovinom iz čega se da zaključiti da vrsta *S. ambulans* preferira mikrolital kao svoje mikrostanište. Također preferira halofite i makrofite više nego alge kao mikrostanište. Izvori su često prekriveni sa biljnim vrstama roda *Lemna* i *Hydrocharis*, ili su gusto zarasla vrstama roda *Elodea* i *Fontinalis*. Dna se sastoje od razgrađenih organskih tvari, pijeska, blata i trulog lišća (TAYLOR i SANDERS, 2001 cit. iz SIDOROV i PALATOV, 2012). Okolna vegetacija je dobro razvijena i mogu se naći *Phragmites communis* (Cav.) Trin. ex Steudel, *Typha latifolia* L., *Iris pseudoacorus* L. i neke vrste roda *Carex* L. (KONOPACKA i BLAZEWICZ-PASZKOWYCZ, 2000).

Vrsta *S. ambulans* je specifična jer naseljava i površinske i podzemne vode. Zahvaljujući visokoj adaptaciji nekih populacija opisana je podzemna forma *S. ambulans* f. *subterranea* Karaman, 1931 s područja Dinarskog krša. Ta forma, koja se danas smatra sinonimom tipske vrste, zabilježena je i na izvoru Krčić (KARAMAN, 1974). Populacija vrste *S. ambulans* sa izvora Krčić ima dobro razvijene oči, ali sve ostale karakteristike su jednake onima koje ima *S. ambulans* f. *subterranea* (KARAMAN, 1974). Premda SIDOROV i PALATOV (2012) ukazuju da vrsta, premda nastanjuje podzemna staništa ne pokazuje stigobiontska obilježja, kao što je anoftalmija i depigmentacija, za opisanu formu sa Dinarida se to ne može tvrditi, jer je potpuno bez očiju i mliječno bijele boje habitusa, kako stoji u reviziji forme (KARAMAN, 1974). Tijekom provedenih istraživanja broja ocela na vrsti *S. ambulans* na izvoru Krčić (OSTRIHON, 2012) nije utvrđena anoftalmija, no tijekom istraživanja jasno je vidljiva depigmentacija jedinki u živom stanju.

Za zajednice povremenih izvora "sezonsko presušivanje" predstavlja samo jedan ekstremni period u njihovom životnom ciklusu, te su razvili različite prilagodbe i strategije kako bi se zaštitili (FEGNOLIO i sur., 2007). Fauna akvatičkih organizama koji žive u povremenim tekućicama ima sposobnost brzog oporavljanja nakon presušivanja (FLETCHER, 1986 cit. iz FEGNOLIO i sur., 2007).

### 5.3. Sezonska varijabilnost ontogenetske i spolne strukture populacija

Prema SCHELLENBERGU (1942 cit. iz KONOPACKA i BLAZEWICZ-PASZKOWYCZ, 2000) nedugo nakon razmnožavanja roditeljska generacija progresivno izumire u kolovozu te ostaju samo adolescenti. Juvenilne jedinke pojavljuju se sredinom srpnja (KONOPACKA i BLAZEWICZ-PASZKOWYCZ, 2000). Na izvoru Krčić juvenilne jedinke pojavljuju se kada se aktivira izvor, u prosincu 2011. godine, što ukazuje na činjenicu da su ženke ovigerne u razdoblju boravka u podzemnim vodama te se juvenilne jedinke oslobađaju iz marsupija ženki neposredno prije aktivacije izvora kada su sposobne samostalno se kretati i hraniti. Među mahovinom ih ima više nego ostalih jedinki. Može se pretpostaviti da juvenilne jedinke traže mahovinu kao zaklon i zaštitu od predatora, iako ih ima i na makrolitalu i mikrolitalu, ali u manjem postotku. Dakle iz ovog se može zaključiti kako se vrsta razmnožava u podzemnim vodama, što je veoma specifično za zajednice vrste *S. ambulans* sa izvora Krčić. Toj teoriji ide u prilog činjenica da je tijekom istraživnog razdoblja nađeno svega nekoliko ovigernih ženki (travanj 2011. jedna ovigerna ženka; svibanj 2011. jedna ovigerna ženka; siječanj 2012. dvije ženke i ožujak 2012. godine jedna ženka). Iz tog razloga nije bilo moguće odrediti fekunditet za populaciju s izvora Krčić.

### 5.4. Odnos spolova i fekunditet

Istraživanje provedeno od strane KONOPACKA i BLAZEWICZ-PASZKOWYCZ (2000) o životnom ciklusu vrste *S. ambulans* u Poljskoj ukazuje da su ženke brojnije od mužjaka sa sezonskim promjenama u udjelu spolova kroz godinu. U uzorcima iz Belgije, mužjaci su brojniji od ženki u omjeru 1:0.7. Ova razlika može postojati s obzirom na relativno mali broj jedinki koje su nađene. Štoviše, sezonske promjene u odnosu spolova ne mogu se ispitati jer su svi uzorci uzeti u proljeće (BOETS i sur., 2010). Na izvoru Krčić odnos spolova malo odstupa od pretpostavljenog odnosa 1:1 (travanj i svibanj 2011., lipanj 2012. i travanj 2013. godine). Vrsta ima iteroparni (univoltini) tip životnog ciklusa (KONOPACKA i BLAZEWICZ-PASZKOWYCZ, 2000). Populacija sa Krčića ima također univoltini tip životnog ciklusa, jer se iz istraživanja pretpostavlja da se razmnožava jednom godišnje i to u podzemlju s obzirom na sporadičan nalaz pojedinačnih ovigernih ženki u travanju 2011. (1 ženka), svibnju 2011. (1 ženka), siječnju 2012. (2 ženke) i ožujku 2012. godine (1 ženka). U marsupiju ženki nađeno je

između 1 i 10 jaja. Iz rezultata istraživanja na izvoru Krčić jasno je vidljivo da se u prosincu pojavila nova generacija juvenilnih jedinki.

### 5.5. Ontogenetske i spolne razlike ukupne dužine tijela

Ženke imaju ukupnu dužinu od 2.38 – 7.35 mm, mužjaci od 2.24 – 5.25 mm. Srednja vrijednost dužine za ženke je 4.18 mm. a za mužjake je 3.48 mm. Uspoređujući jedinke s izvora Krčić i drugih dijelova Europe može se vidjeti da su jedinke s Krčića među najmanjima (Tablica 4). U SAD-u kod vrste *Synurella chamberlaini* ukupna dužina odrasle ženke varira od 8.0 - 11.5 mm, a mužjaka od 4.8 - 8.5 mm (SMITH, 1987). Za adolescente i juvenilne jedinke ne postoje zabilježene dužine tijela pa se ne može napraviti usporedba.

Tablica 4. Prikaz ukupne dužine tijela ženki i mužjaka vrste *Synurella ambulans* u različitim područjima Europe. \* - podaci nisu zabilježeni (min – minimalna dužina; max – maksimalna dužina; x – srednja vrijednost).

Područje istraživanja	Hrvatska (izvor Krčić)		Hrvatska (izvor Skukani)		Hrvatska (izvor Gorinci)		Poljska		Belgija		Rusija		Litva	
	ženke	mužjaci	ženke	mužjaci	ženke	mužjaci	ženke	mužjaci	ženke	mužjaci	ženke	mužjaci	ženke	mužjaci
min (mm)	2,38	2,24	3,57	2,78	2,57	2,28	*	*	*	*	3,50	3,00	4,50	*
max (mm)	7,35	5,25	5,85	5,71	6,43	5,71	7,00	4,70	8,80	5,30	6,00	4,50	6,30	*
x (mm)	4,18	3,48	5,23	3,53	4,99	3,72	*	*	6,70	4,50	*	*	*	*
Autor/i	BABIĆ, 2013		ŠKALEC, 2012		ŠKALEC, 2012		KONOPACKA I BLĄZEWICZ- PASZKOWYCZ, 2000		BOETS i sur., 2010		SIDOROV I PALATOV, 2012		ARBAČIAUSKAS, 2008	

Analizirana ukupna dužina adolescenata pokazuje prisutnost dviju generacija s obzirom na bimodalnu distribuciju ukupne dužine tijela. Tijekom analiziranog razdoblja utvrđen je istovjetan trend učestalosti ukupne dužine tijela kod mužjaka i ženki. Tijekom svibnja i lipnja 2012. god. utvrđene su veće prosječne dužine tijela mužjaka i ženki. To dokazuje da se u izvoru nalazi jedna generacija jedinki gdje rast mužjaka prati rast tijela ženki i obratno.

## 6. ZAKLJUČAK

- Populacija vrste *Synurella ambulans* na povremenom izvoru Krčić povlači se u podzemne vode tijekom presušivanja izvora od srpnja do rujna, listopada, studenog ili čak ekstremno prosinca tijekom ovog istraživanja, prilagodivši se na ekstremne uvjete u podzemlju (turbulentan tok, nedostatak svjetlosti i hrane).
- Fizikalno – kemijski čimbenici su relativno stalni dok je izvor aktivan, s vrijednostima temperature ispod srednje godišnje temperature za istraživano područje, što uvrštava izvor Krčić u hladne izvore, s iznimno visokim vrijednostima količine otopljenog kisika u vodi za izvorišna staništa te niskim stupnjem mineralizacije. Gustoća populacije je najveća na mikrolitalu, što ukazuje na vezanost vrste uz intersticijska mikrostaništa tj. mikrostaništa vadozne zone nakon spuštanja vodnog lica na izvoru Krčić.
- Netom izlegle juvenilne jedinke pojavljuju se u najvećem broju neposredno nakon aktiviranja izvora u zimskim mjesecima (prosinac, siječanj), što upućuje da je reproduktivni ciklus vrste usklađen s dinamikom aktiviranja izvora te ženke odlažu jaja u marsupij u stabilnim uvjetima podzemnih voda prije aktiviranja izvora tj. tijekom podizanja hladne vode u vodonosniku, što može biti ključni temperaturni okidač pokretanja reproduktivnog ciklusa. Jedinke se prema tome jednom godišnje razmnožavaju u podzemlju te populacija ima univoltini tip životnog ciklusa, što potvrđuje izostanak nalaza jedinki u amplexusu te uzorkovanje samo pet ovigernih ženki tijekom cijelog istraživnog razdoblja.
- Odnos spolova (eng. sex ratio) je relativno ujednačen i približava se vrijednosti od 1:1 tijekom cijelog istraživnog razdoblja.
- U istraživnom razdoblju pojavljuje se jedna generacija mužjaka, ženki i juvenilnih jedinki, što dokazuje normalna distribucija vrijednosti veličinskih kategorija, dok adolescenti imaju bimodalnu distribuciju ukupne dužine tijela, tj. pojavljuju se dvije generacije.
- Tijekom analiziranog razdoblja utvrđen je istovjetan trend učestalosti ukupne dužine tijela kod mužjaka i ženki. Tijekom svibnja i lipnja 2012. god. utvrđene su veće prosječne dužine tijela mužjaka i ženki. To dokazuje da se u izvoru nalazi jedna generacija jedinki gdje rast mužjaka prati rast tijela ženki i obratno, pri čemu su mužjaci prosječno manji od ženki.

- Jedinke s izvora Krčić su najmanje jedinke do sada istraživane u Europi, što dodatno potvrđuje visok stupanj prilagodbe ove populacije ne samo na život u podzemnim vodama, već vjerojatnije na međuprostore vadozne zone u kojima se voda zadržava nakon spuštanja vodnog lica.



## 7. LITERATURA

1. Alexandrov, B., Boltachev, A., Kharchenko, T., Lyashenko, A., Son, M., Tsarenko, P. i Zhukinsky, V. (2007): Trends of aquatic alien species invasions in Ukraine. *Aquatic Invasions* 2 (3): 215-242.
2. AQEM CONSORTIUM (2002): Manual for the application of the AQEM system. A comprehensive method to assess European streams using benthic macroinvertebrates, developed for the purpose of the Water Framework Directive. Version 1.0, February 2002.
3. Arbačiauskas, K. (2008): *Synurella ambulans* (F. Müller, 1846), a new native amphipod species of Lithuanian waters. *Acta Zoologica Lituanica* 18 (1): 66-68.
4. Argyroudi, A., Chatzinikolaou, Y., Poirazidis, K., Lazaridou M. (2009): Do intermittent and ephemeral Mediterranean rivers belong to the same river type? *Aquatic Ecology* 43 (2): 465-476.
5. Babačić Ajduk, A. (2011): Izvješće o ostvarivanju "Programa zaštite, održavanja, očuvanja, promicanja i korištenja zaštićenih dijelova prirode na području Šibensko-kninske županije za 2010. godinu". Javna ustanova za upravljanje zaštićenim područjima i drugim zaštićenim prirodnim vrijednostima na području Šibensko-kninske županije, Šibenik: 1-16.
6. Barnard, J. L. i Karaman, G. S. (1983): Australia as a major evolutionary centre for Amphipoda (Crustacea). *Papers from the Conference on the Biology and Evolution of Crustacea, The Australian Museum, Sydney*: 45-61.
7. Blackburn, M. i Mazzacano, C. (2012): Using aquatic macroinvertebrates as indicators of streamflow duration. *U.S. Environmental Protection Agency, Region 10*: 1-17.
8. Boets, P., Lock, K. i Goethals, P. L. M. (2010): First record of *Synurella ambulans* (Müller 1846) (Amphipoda: Crangonictidae) in Belgium. *Belg. J. Zool.* 140 (2): 244-245.
9. Bonnaci, O. i Perica, S. (1990): Specifičnosti hidrologije sliva Krke. U: Kerovec, M. (ed.). *Zbornik radova sa Simpozija "NP Krka – stanje istraženosti i problemi zaštite ekosistema"*. Ekološke monografije. Hrvatsko ekološko društvo, vol. 2: 85-115.
10. Bousfield, E. L. (1977): A New Look at the Systematics of Gammaroidean Amphipods of the World. *Studies on Gammaridea. Proceedings of the Third International Colloquium on Gammarus and Niphargus, Schlitz, 1975. Crustaceana (Suppl. 4)*: 282-316.

11. Fenoglio, S., Bo, T., Cucco, M. i Malacarne, G. (2007): Response of benthic invertebrate assemblages to varying drought conditions in the Po river (NW Italy). *Italian Journal of Zoology* 74: 191-201.
12. Fišer, C. Sket, B., Stoch, F. (2006): Distribution of four narrowly endemic *Niphargus* species (Crustacea: Amphipoda) in the western Dinaric region with description of a new species. *Zoologischer Anzeiger* 245: 77-94.
13. Fišer, C., Keber, R., Kereži, V., Moškrič, A., Palandačić, A., Petkovska, V., Potočnik, H., Sket, B. (2007): Coexistence of species of two amphipod genera: *Niphargus timavi* (Niphargidae) and *Gammarus fossarum* (Gammaridae). *Journal of Natural History* 41: 2641-2651.
14. Friganović, M. (1990): Geografske značajke i vrednote rijeke Krke. U: Kerovec, M. (ed.). Zbornik radova sa Simpozija "NP Krka – stanje istraženosti i problemi zaštite ekosistema". Ekološke monografije. Hrvatsko ekološko društvo, vol. 2: 1-14.
15. Fumetti, S. (2008): Distribution, discharge and disturbance: new insights into faunal spring ecology. Inauguraldissertation. Philosophisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät der Universität. Basel: 1-89.
16. Glazier, D. S. (1999): Variation in offspring investment within and among populations of *Gammarus minus* Say (Crustacea: Amphipoda) in ten mid-Appalachian springs (U.S.A.). *Archiv für Hydrobiologie* 146: 257-284.
17. Glazier, D. S. (2009a): Springs. U: Likens, G. E. (ur.), *Encyclopedia of Inland Waters*. Oxford, Elsevier, vol. 1: 734-755.
18. Glazier, D. S. (2009b): Amphipoda. U: Likens, G. E. (ur.), *Encyclopedia of Inland Waters*. Oxford, Elsevier, vol. 1: 89-115.
19. Gottstein, S., Mihaljević, Z., Perović, G., Kerovec, M. (2000) The distribution of amphipods (Crustacea) in different habitats along the Mura and Drava river system in Croatia. *Limnological Reports* 33: 231-236.
20. Gottstein Matočec, S. (ed.), Bakran-Petricioli, T., Bedek, J., Bukovec, D., Buzjak, S., Franičević, M., Jalžić, B., Kerovec, M., Kletečki, E., Kralj, J., Kružić, P., Kučinić, M., Kuhta, M., Matočec, N., Ozimec, R., Rađa, T., Štamol, V., Ternjej, I. & N. Tvrčković (2002a): An overview of the cave and interstitial biota of Croatia. *Natura Croatica* 11 (Suppl. 1): 1-112.
21. Gottstein Matočec, S. (ur.), Ozimec, R., Jalžić, B., Kerovec, M., Bakran-Petricioli, T. (2002b): Raznolikost i ugroženost podzemne faune Hrvatske. Ministarstvo zaštite okoliša i prostornog uređenja, Zagreb: 1-82.

22. Gottstein, S., Žganec K., Maguire, I., Kerovec, M. i Jalžić, B. (2005): Viši rakovi slatkih i bočatih voda porječja rijeke Krke. U: Zbornik radova sa Simpozija "Rijeka Krka i NP Krka – Prirodna i kulturna baština, zaštita i održivi razvitak": 421-430.
23. Gottstein, S., Ivković, M., Ternjej, I., Jalžić, B. i Kerovec, M. (2007): Environmental features and crustacean community of anchihaline hypogean waters on the Kornati islands, Croatia. *Marine Ecology*, 28 (Suppl. 1): 24-30.
24. Gottstein, S., Kršinić, F., Ternjej, I., Cukrov, N., Kutleša, P. i Jalžić, B. (2012): Shedding light on crustacean species diversity in the anchihaline caves of Croatia. *Natura Croatica: periodicum Musei historiae naturalis Croatici*, 21 (Suppl. 1): 54-58.
25. Herak, M. (1990): Geologija. Postanak, tektonika i dinamika Zemlje. Razvojni put Zemlje i života. Geološka građa kontinenta i oceana. Školska knjiga, Zagreb: 1-433.
26. Hering, D., Moog, O., Sandin, L. i Verdonchot, P. F. M. (2004): Overview and application of the AQEM assessment system. *Hydrobiologica* 516: 1-20.
27. Holsinger, J. R. (1972): Biota of Freshwater Ecosystems, Identification Manual 5. The freshwater amphipod crustaceans (Gammaridae) of North America. U.S. Environmental Protection Agency, Washington, str. 1-89.
28. Holsinger, J. R. (1974): Systematics of the Subterranean Amphipod Genus *Stygobromus* (Gammaridae), part I: Species of the Western United States. *Smithsonian Contributions to Zoology*, 160: 1-63.
29. Jukić, D. (2006): Kontinuirane wavelet-transformacije i njihova primjena na sliv Krčića i izvora Krke. *Vodoprivreda* 38 (219-221): 23-39.
30. Karaman, G. S. (1974): 58. Contribution to the Knowledge of the Amphipoda. Genus *Synurella* Wrzes. in Yugoslavia with remarks on its all World known species, their synonymy, bibliography and distribution (fam. Gammaridae). *Poljoprivreda i šumarstvo* 20 (2-3): 83-133.
31. Karaman, G. S. (2003): New data on some Gammaridean Amphipods (Amphipoda, Gammaridea) from Palearctic. (Contribution to the Knowledge of the Amphipoda 245). Montenegrin Academy of Sciences and Arts, Glasnik sect. Nat. Hist. Podgorica, 15: 21-37.
32. Karaman, G. i Gottstein Matočec, S. (2006): *Niphargus echion*, a new species of amphipod (Crustacea Amphipoda, Niphargidae) from Istra, Croatia. *Zootaxa*, 1150: 53-68.

33. Konopacka, A. i Błażewicz-Paszkowycz, M. (2000): Life history of *Synurella ambulans* (F. Müller, 1846) (Amphipoda, Crangonyctidae) from central Poland. *Polskie Archiwum Hydrobiologii* 47: 597-605.
34. Lowry, J. (2013). *Synurella* Wrzesniowski, 1877. U: Horton, T., Lowry, J., De Broyer, C. (ur.) World Amphipoda database. Accessed through: World Register of Marine Species at <http://www.marinespecies.org/aphia.php?p=taxdetails&id=489372>.
35. Marguš, D., Babačić Ajduk, A., Zekanović, H. i Dragutin, T. (2011): Značajni krajobraz "Rijeka Krčić". U: Marguš, D. (ed.): Zaštićene prirodne vrijednosti Šibensko-kninske županije. Javna ustanova za upravljanje zaštićenim područjima i drugim prirodnim vrijednostima na području Šibensko-kninske županije. Šibenik: 79-85.
36. Matoničkin, I. (ur.), Habdija, I., Primc-Habdija, B. (1999): Beskralješnjaci: biologija viših avertebrata, 3. prerađeno i dopunjeno izdanje, Školska knjiga, Zagreb: 1-609.
37. Meyer, A., Meyer, E. I. i Meyer, C. (2003): Lotic communities of two small temporary karstic stream system (East Westphalia, Germany) along a longitudinal gradient of hydrological intermittency. *Limnologia* 33: 271-279.
38. Mihaljević, Z., Tavčar, V., Kerovec, M., Gottstein, S., Ternjej, I., Mrakovčić, M., Plenković-Moraj, A. (2000): Macrozoobenthos of drainage ditches at two reservoirs in the Drava River. *Limnological Reports* 33: 257-262.
39. Morais, M., Pinto, P., Guilherme, P., Rosado, J., Antunes, I. (2004): Assessment of temporary streams: the robustness of metric and multimetric indices under different hydrological conditions. *Hydrobiologia* 516: 229-249.
40. Orghidan, T. (1959): Ein neuer Lebensraum des unterirdischen Wassers, der hyporheische Biotop. *Archiv für Hydrobiologie* 55 (3): 392-414.
41. Ostrihon, Ž. (2012): Varijabilnost broja omatidija vrste *Synurella ambulans* (Müller, 1846) (Crustacea, Amphipoda) na različitim staništima Hrvatske. Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fakultet, diplomski rad: 1-60.
42. Perica, D., Orešić, D. i Trajbar, S. (2005): Geomorfološka obilježja doline i poriječja rijeke Krke s osvrtom na dio od Knina do Bilušića buka. *Geoadria* 10 (2): 131-156.
43. Řezníčková, P., Pařil, P. i Zahrádková, S. (2007): The Ecological Effect of Drought on the Macroinvertebrate Fauna of a Small Intermittent Stream – An Example from the Czech Republic. *Internat. Rev. Hydrobiol.* 92 (4-5): 514-526.

44. Sidorov, D. i Palatov, D. (2012): Taxonomy of the spring dwelling amphipod *Synurella ambulans* (Crustacea: Crangonyctidae) in West Russia: with notes on its distribution and ecology. *European Journal of Taxonomy* 23: 1-19.
45. Sket, B. (1981): Distribution, ecological character and phylogenetic importance of *Niphargus valachicus* (Amphipoda, Gammaridae, *s.l.*). *Biol. Vestn.* 29 (1): 87-103.
46. Smith, D. G. (1987): The genus *Synurella* in New England (Amphipoda, Crangonyctidae). *Crustaceana* 53 (3): 304-306.
47. Smith, H., Wood, P. J. (2002): Flow permanence and macroinvertebrate community variability in limestone spring system. *Hydrobiologica* 487: 45-58.
48. Smith, H., Wood, P. J., Gunn, J. (2003): The influence of habitat structure and flow permanence on invertebrate communities in karst spring systems. *Hydrobiologica* 510: 53-66.
49. Sutcliffe, D.W. (1992): Reproduction in *Gammarus* (Crustacea, Amphipoda): basic processes. *Freshwater Forum* 2: 102-128.
50. Škalec, S. (2012): Životni ciklus vrsta *Niphargus likanus* (Karaman, 1952) (Amphipoda, Niphargidae) i *Synurella ambulans* (Müller, 1846) (Amphipoda, Crangonyctidae) na izvorima uz Gojačku Dobru. Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fakultet, diplomski rad: 1-68.
51. Thorp, J. H. i Covich, A. P. (2001): Introduction to the subphylum Crustacea. U: *Ecology and classification of North American freshwater invertebrates*, 2nd edition, Academic Press, USA: 777-809.
52. Väinölä, R., Witt, J. D. S., Grabowski, M., Bradbury, J. H., Jazdzewski, K., Sket, B. (2008): Global diversity of amphipods (Amphipoda; Crustacea) in freshwater. *Hydrobiologia* 595: 241-255.
53. Webb, D.W., Wetzel, M.J., Reed, P.C., Philippe, L.R., Young, T.C. (1998): The macroinvertebrate biodiversity, water quality, and hydrogeology of ten karst springs in the Salem Plateau of Illinois. U: Botosaneanu, L. (ur.): *Studies in Crenobiology. The biology of springs and springbrooks*. Backhuys Publishers, Leiden: 39-48.
54. Wood, P. J., Gunn, J., Smith, H. i Abas-Kutty, A. (2005): Flow permanence and macroinvertebrate community diversity within groundwater dominated headwater streams and springs. *Hydrobiologia* 545: 55-64.
55. Zaninović, K. (2005): Klima i bioklima Nacionalnog parka "Krka". U: Marguš, D. (ed.): *Zbornik radova sa Simpozija "Rijeka Krka i Nacionalni park "Krka", prirodna i kulturna baština, zaštita i održivi razvitak*: 67-78.

56. Zollhöfer, J. M., Brunke, M. i Gonser, T. (2000): A typology of spring in Switzerland by integrating habitat variables and fauna: Arch. Hydrobiol. Suppl. Monogr. Stud. 121 (3-4): 349-276.
57. Zollhöfer, J. M. (2000): Springs – the forgotten biotope. EAWAG news 49e.
58. Žganec, K. i Gottstein, S. (2009): The river before damming: distribution and ecological notes on the endemic species *Echinogammarus cari* (Amphipoda: Gammaridae) in the Dobra River and its tributaries, Croatia. Aquatic Ecology 43: 105-115.
59. Žganec, K., Đurić, P. i Gottstein, S. (2011): Life History Traits of the Endangered Endemic Amphipod *Echinogammarus cari* (Crustacea, Gammaridae) from the Dinaric Karst. Internat. Rev. Hydrobiol. 96 (6): 686-708.
60. Žganec, K., Đurić, P., Hudina, S. i Gottstein, S. (2013): Population and distribution changes of two coexisting river amphipods after the closure of a new large dam. Limnologica 43: 460-468.

#### **Internetski izvori:**

1. <http://www.marinespecies.org/aphia.php?p=taxdetails&id=489372>
2. <http://www.npkrka.hr/>